পশ্চিমবঙ্গ উচ্চ মাধ্যমিক শিক্ষা-সংসদ কর্তৃক প্রচারিত এগারো-বারো শ্রেণীর পাঠক্রম অনুযায়ী লিখিত।

পদার্থ বিজ্ঞান

দ্বিতীয় ভাগ

[আলোক বিজ্ঞান, চৌম্বক ও স্থির তড়িৎ বিজ্ঞান, প্রবাহী তড়িৎ বিজ্ঞান এবং আধুনিক পদার্থ বিজ্ঞান]

(দ্বিতীয় পত্রের জন্য)

শ্রীচিত্তরঞ্জন দাশগুপ্ত, এম্. এস-সি
কলিকাতা সিটি কলেজের পদার্থ বিজ্ঞানের প্রধান অধ্যাপক, 'ত্রিবার্ষিক পদার্থ বিজ্ঞান', 'প্রাকৃতিক বিজ্ঞান', 'প্রাক বিশ্ববিদ্যালয় পদার্থ বিজ্ঞান' প্রভৃতি গ্রন্থের লেখক।

দ্বিতীয় সংস্করণ

বুক সিণ্ডিকেট প্রাইভেট লিমিটেড
২, রামনাথ বিশ্বাস লেন, কলিকাতা-৯

দ্বিতীয় সংস্করণ—অক্টোবর, ১৯৬০

এই গ্রন্থের প্রথম ভাগ—বল বিজ্ঞান, সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান,
তাপ বিজ্ঞান এবং কম্পন ও তরঙ্গ

"Paper used for printing the book was made available by the Govt. of India at a concessional rate."

Published by Sri Kripasindhu Das M.A.,B.T. for Book Syndicate (P) Lt
at 2, Ramnath Biswas Lane, Calcutta-9 and Printed by Sri Chanchal Bhowal
B.Sc., at Prestige Printers, 2, Ramnath Biswas Lane, Calcutta-9

সূচীপত্র

আলোক বিজ্ঞান

চৌম্বক বিজ্ঞান

স্থির তড়িৎবিজ্ঞান

প্রবাহী তড়িৎবিজ্ঞান

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান

আলোক বিজ্ঞান

(OPTICS)

প্রথম পরিচ্ছেদ

পূর্বানুবৃত্তি এবং ফটোমিতি

(Recapitulation & Photometry)

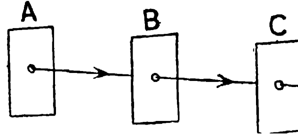
1·1. **আলোকের প্রকৃতি (Nature of light)ঃ** পারিপার্শ্বিক জগতের সহিত আমাদের পরিচয় মূলত দৃষ্টির দ্বারা। চোখ মেলিলেই আমরা আমাদের চারিদিকে নানারকম জিনিস দেখিতে পাই। কিন্তু শুধু চোখ থাকিলেই কি দেখা যায়? একটি অন্ধকার ঘরে যদি চোখ মেলিয়া থাকা যায় তবে কি ঘরের কোন জিনিস দেখা যায়? আবার পূর্ণ আলোকিত ঘরে চোখ বন্ধ করিয়া রাখিলেও কোন জিনিস দেখা যায় না। সুতরাং চোখ দ্বারা কিছু দেখিতে হইলে একটি বাহ্যিক কারণ প্রয়োজন। অর্থাৎ বস্তু হইতে আলো যখন চোখে পড়ে তখনই আমাদের উক্ত বস্তু সম্পর্কে দর্শনানুভূতি হয়। অতএব, আলো-কে আমরা এমন এক বাহ্যিক প্রেরণা (stimulus) বলিতে পারি যাহা চোখে কোন দ্রব্য সম্বন্ধে দর্শনানুভূতি জাগায়।

তাপ, বিদ্যুৎ প্রভৃতির ন্যায় আলোকও একপ্রকার শক্তি। একটি ধাতব বলকে কয়লার আগুনে উত্তপ্ত করিলে বলটি তাপশক্তি নির্গত করে। এস্থলে কয়লার রাসায়নিক শক্তি তাপ-শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। বলটিকে ক্রমাগত উত্তপ্ত করিলে এক সময় উহা আলোক উৎপন্ন করিবে। তখন রাসায়নিক শক্তির খানিকটা অংশ আলোকশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই সকল উদাহরণ হইতে আমরা বলিতে পারি যে আলোকও এক প্রকার শক্তি। আলো বস্তুকে দৃশ্যমান করে, কিন্তু নিজে অদৃশ্য। আমরা আলো দেখিতে পাই না, কিন্তু আলোকিত বস্তুকে দেখি। অন্যান্য শক্তির ন্যায় আলোকশক্তিও অদৃশ্য।

আলোক এক স্থান হইতে অন্যস্থানে তরঙ্গের আকারে বিস্তৃত হয়। আলোকের তরঙ্গ তির্যক (transverse) এবং ইহার দৈর্ঘ্য খুব ক্ষুদ্র। আলোকের গতি সেকেণ্ডে প্রায় 1,86,000 মাইল অথবা 3×10^5 কিলোমিটার।

1·2. **আলোকের ঋজুগতি (Rectilinear motion of light)ঃ** আমাদের নানারকম সাধারণ অভিজ্ঞতা হইতে জানিতে পারি, যে, আলোকের গতি সরলরেখা অবলম্বন করিয়া হয়। অন্ধকার রাস্তায় মোটর গাড়ীর হেডলাইট হইতে আলো ফেলিলে দেখা যায় যে, উহা সরল রেখায় যায়। একটি অন্ধকার ঘরের জানলায় একটি ছোট ছিদ্র করিলে সূর্যকিরণ যখন ঐ ছিদ্র দিয়া ঘরে প্রবেশ করে তখন ঘরের বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণাগুলি রৌদ্র দ্বারা আলোকিত হয় এবং তখন স্পষ্ট বোঝা যায় যে আলো সরল রেখায় চলে। ভাঙ্গা ভাঙ্গা মেঘের ফাঁক দিয়া যখন সূর্য-কিরণ বাহির হয় তখন ঐ আলো সরল রেখা বরাবর চলে। পরীক্ষাগারে নিম্নলিখিত সহজ পরীক্ষাদ্বারা আলোকের ঋজুগতির সত্যতা প্রমাণ করা যায়।

A,B,C, তিনটি শক্ত কাগজের বোর্ড। উহাদের প্রত্যেকের গায়ে একটি করিয়া ছোট ছিদ্র আছে। এই তিনটি বোর্ড এমনভাবে সাজাও যে ছিদ্র তিনটি এবং একটি মোমবাতির শিখা একই সরলরেখায় থাকে (চিত্র 1·1)। এখন C বোর্ডের অপর পার্শ্বে চোখ রাখিয়া ছিদ্র তিনটির ভিতর



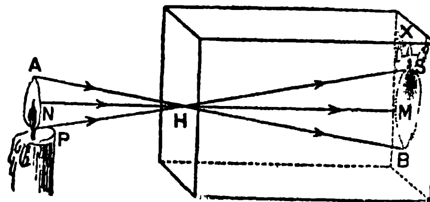
চিত্র 1·1

দিয়া শিখা লক্ষ্য কর। দেখিবে শিখা দেখিতে গেলে চোখকে ছিদ্র তিনটির সহিত একই সরল রেখায় রাখিতে হইতেছে। এখন যে কোন একটি বোর্ডকে উপর-নীচে অথবা পাশে একটু সরাইলে আর শিখা দেখা যায় না। ইহার কারণ, আলো স্থানচ্যুত বোর্ড কর্তৃক বাধা পায়। ইহা প্রমাণ করে আলো সরলরেখায় চলাচল করে। যদি আলো বক্ররেখায় যাইতে পারিত তবে অনায়াসে স্থানচ্যুত বোর্ডের ছিদ্র দিয়া আসিয়া চোখে পেঁছাইত।

1·3. **সূচী-ছিদ্র ক্যামেরা** (Pin-hole camera): এই ক্যামেরার কার্য পদ্ধতি দ্বারা প্রমাণ হয় যে, আলো সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলাচল করে।

1.2 নং চিত্রে একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার ছবি দেখান হইল। এই ক্যামেরা একটি আয়তাকার (rectangular) বাক্সের তৈয়ারী। বাক্সের সম্মুখতল কার্ডবোর্ডের তৈয়ারী এবং ইহাতে একটি সূচী-ছিদ্র H আছে। বিপরীত তল X একটি ঘষা কাচের প্লেটে তৈয়ারী। বাক্সের অভ্যন্তর কালো রং করা থাকে। ইহাতে আলোর প্রতিফলন বন্ধ হয়। সূচী-ছিদ্রের সম্মুখে কোন বস্তু রাখিলে ঘষা-কাচের উপর উহার উল্টা ছবি পড়িবে।

ধরা যাউক, ছিদ্রের সম্মুখে একটি মোমবাতি দাঁড় করানো আছে (1·2 নং চিত্র)। মোমবাতির শিখার যে-কোন যায়গা হইতে—ধর, A বিন্দু হইতে আলোক-রশ্মি চতুর্দিকে গমন করিবে, কিন্তু



চিত্র 1·2

যে-রশ্মি সোজাসুজি ছিদ্রের ভিতর দিয়া যাইতে পারিবে, যেমন, AH রশ্মি—তাহাই B বিন্দুতে A বিন্দুর প্রতিকৃতি তৈয়ারী করিবে। তেমনি N এবং P বিন্দু হইতে রশ্মি নির্গত হইয়া সোজা-

সুজি ছিদ্র দিয়া যথাক্রমে M এবং S বিন্দুতে প্রতিকৃতি তৈয়ারী করিবে। এইরূপে সমগ্র শিখার উল্টা প্রতিকৃতি ঘষা কাচের উপর পড়িবে। যদি ঘষা কাচের পরিবর্তে ফটোগ্রাফী-প্লেট রাখা যায় তবে প্লেটে শিখার ছবি উঠিবে। সুতরাং ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে আলো সরলরেখায় চলে।

[**দ্রষ্টব্য ঃ** সূচী-ছিদ্র ক্যামেরাতে বস্তুর যে ছবি দেখা যায় উহাকে প্রতিবিম্ব (image) বলা চলে না। প্রতিবিম্ব কিরূপে সৃষ্টি হয় তাহা পরে আলোচনা করা হইয়াছে।]

(ক) সূচী-ছিদ্র ক্যামেরা সম্বন্ধে কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয় ঃ

(1) যদি ক্যামেরার ছিদ্র বড় করা যায় তবে প্রতিকৃতি অস্পষ্ট হইবে। কারণ, বড় ছিদ্র অনেকগুলি ছোট ছোট ছিদ্রের সমষ্টি বলিয়া ধরা যাইতে পারে। প্রত্যেক ছিদ্রই এক একটি প্রতিকৃতি সৃষ্টি করিবে এবং এই প্রতিকৃতিগুলি একে অপরের উপর পড়িয়া আসল প্রতিকৃতি অস্পষ্ট করিয়া দিবে। যদি ছিদ্র খুব ছোট হয় তবে প্রতিকৃতির সীমারেখা (outline) খুব স্পষ্ট হইবে।

(2) ছিদ্রের আকৃতির (shape) উপর প্রতিকৃতি নির্ভর করে না যতক্ষণ পর্যন্ত ছিদ্রটি খুব ছোট থাকে। ছিদ্র গোল, ডিম্বাকৃতি বা ত্রিভুজাকৃতি যাহাই হউক না কেন, সূচী ছিদ্র হইলে প্রতিকৃতি বস্তুর আকার পাইবে। এই কারণে ঘরের জানলায় যদি ক্ষুদ্র ত্রিভুজাকৃতি ছিদ্র থাকে তাহা হইলে ঐ ছিদ্র দিয়া অনুভূমিক ভাবে প্রবিষ্ট সূর্যকিরণ ঘরের দেওয়ালে পড়িলে প্রতিকৃতি গোলাকার দেখা যায়।

(3) যে-বস্তুর প্রতিকৃতি তৈয়ারী হইবে তাহা যদি ছিদ্র হইতে দূরে সরাইয়া লওয়া হয় তবে প্রতিকৃতির আকার ছোট হইয়া যাইবে।

(4) যদি বস্তুর দূরত্ব ঠিক রাখিয়া ঘষা-কাচ অর্থাৎ পর্দা ছিদ্র হইতে দূরে সরানো যায় তবে প্রতিকৃতির আকার বৃদ্ধি পাইবে।

সূচী-ছিদ্র H-এর ভিতর দিয়া বস্তু এবং প্রতিকৃতির লম্বভাবে একটি রেখা টানিলে, বস্তু এবং প্রতিকৃতির আকারের সহিত সূচী-ছিদ্র হইতে উহাদের দূরত্বের নিম্নলিখিত সম্পর্ক সদৃশ ত্রিভুজের সহায়তায় প্রমাণ করা যায় ঃ

$$\frac{\text{বস্তুর আকার}}{\text{প্রতিকৃতির আকার}} = \frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{\text{ছিদ্র হইতে প্রতিকৃতির দূরত্ব}}$$

উদাহরণ ঃ

(1) একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরাতে ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব 6 ইঞ্চি, কোন মানুষের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্য-সম্পন্ন প্রতিকৃতি পর্দায় গঠন করিতে হইলে মানুষ ক্যামেরা হইতে কতদূরে দাঁড়াইবে ?

উ। আমরা জানি, $\frac{\text{বস্তুর আকার}}{\text{প্রতিকৃতির আকার}} = \frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{\text{ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব}}$

প্রশ্নানুযায়ী, প্রতিকৃতির উচ্চতা বস্তুর উচ্চতার অর্ধেক হইবে এবং ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব=6 ইঞ্চি। অতএব, $2=\frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{6}$

∴ ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব$=6\times 2$ ইঞ্চি$=1$ ফুট

অর্থাৎ, ব্যক্তি ক্যামেরা হইতে 1 ফুট দূরে দাঁড়াইবে।

(2) একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরাতে কোন একটি বাড়ীর 1·5 ইঞ্চি উচু প্রতিকৃতি সৃষ্টি হইল। সূচী-ছিদ্র হইতে পর্দা এবং বাড়ীর দূরত্ব যথাক্রমে 2·6 ইঞ্চি এবং 91 ফুট হইলে বাড়ীটির উচ্চতা কত?

উ। আমরা জানি, $\frac{\text{বস্তুর উচ্চতা}}{\text{প্রতিকৃতির উচ্চতা}}=\frac{\text{ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{\text{ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব}}$

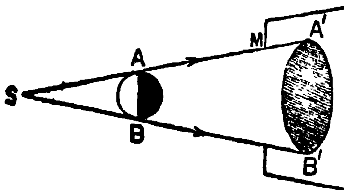
এক্ষেত্রে, $\frac{\text{বস্তুর উচ্চতা}}{\frac{1\cdot 5}{12}}=\frac{91}{\frac{2\cdot 6}{12}}$ ∴ বস্তুর উচ্চতা$=\frac{91\times 1\cdot 5}{2\cdot 6}$ ফুট$=52\cdot 5$ ফুট।

1-4. ছায়ার উৎপত্তি (Formation of shadows):

অস্বচ্ছ বস্তুর ছায়া হয় তাহা তোমরা জান। আলোর সম্মুখে কোন অস্বচ্ছ বস্তু ধরিলে দেওয়ালে তাহার ছায়া পড়ে তাহা সকলেই দেখিয়াছে। **আলো যে সরলরেখায় চলে ছায়া তাহার প্রকৃষ্ট প্রমাণ।** যদি আলো আঁকা বাঁকা পথে চলিতে পারিত তবে কখনও ছায়ার সৃষ্টি হইত না। আলোকের উৎস ও অস্বচ্ছ বস্তুর আপেক্ষিক আকৃতির উপর নির্ভর করিয়া ছায়ার আকৃতি ও প্রকৃতি ভিন্ন ভিন্ন হইতে পারে। নিম্নে ইহার আলোচনা করা হইল।

(1) **বিন্দু আলোক প্রভব ও বিস্তৃত অস্বচ্ছ বস্তু** (Point source and extended object):

S একটি বিন্দু আলোক প্রভব, AB একটি গোলাকার অস্বচ্ছ বস্তু এবং M একটি পর্দা (1·3 চিত্র)। বিন্দু প্রভব S হইতে আলোকরশ্মি চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়িবে। যে-রশ্মিগুলি AB বস্তুর ধার ঘেঁষিয়া যাইবে—যেমন SA, SB প্রভৃতি—উহারা পর্দায় গিয়া পড়িবে। কিন্তু SAB শঙ্কুর (cone) অভ্যন্তরস্থ কোন রশ্মি পর্দায় পৌঁছাইতে পারিবে না—কারণ, উহারা AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে। অন্যান্য রশ্মি পর্দায় পৌঁছিয়া পর্দাকে আলোকিত করিবে; সুতরাং পর্দার AB অংশ সম্পূর্ণ অন্ধকার থাকিবে এবং ইহার আকার গোল হইবে।



চিত্র 1·3

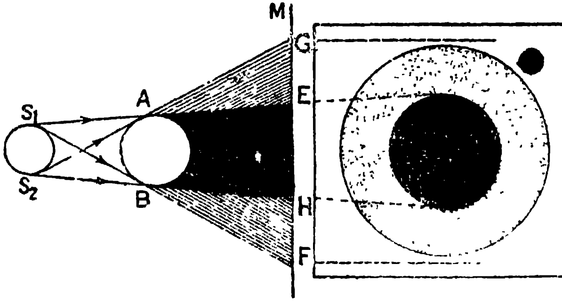
ইহাই হইল AB বস্তুর ছায়া। পর্দা দূরে সরাইয়া লইলে ছায়ার আকার বৃদ্ধি পাইবে কিন্তু গাঢ়তা হ্রাস পাইবে।

(2) বিস্তৃত আলোক প্রভব ও আলোক প্রভব হইতে বড় অস্বচ্ছ বস্তু (Extended source and object greater than the size of the source) :

S_1S_2 একটি বিস্তৃত আলোক প্রভব। AB একটি অস্বচ্ছ বস্তু এবং M একটি পর্দা। AB বস্তুর আকার আলোক প্রভব হইতে বড় (1·4 নং চিত্র)।

বিস্তৃত আলোক প্রভব S_1S_2-কে আমরা বহু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দু আলোক-প্রভবের সমষ্টি বলিয়া ধরিতে পারি। মনে কর, S_1 এবং S_2 ঐরূপ দুইটি প্রান্ত (extreme) বিন্দু প্রভব।

এখন S_1 বিন্দু হইতে নির্গত এবং S_1A ও S_1B প্রভৃতি রেখাদ্বারা সীমাবদ্ধ আলোকরশ্মিগুলি যে-আলোকশঙ্কুর সৃষ্টি করিবে তাহা AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে এবং পর্দায় পৌঁছাইতে পারিবে না। সুতরাং উহারা E হইতে F পর্যন্ত ছায়া সৃষ্টি করিবে। তেমনি সর্বনিম্ন বিন্দু S_2



চিত্র 1·4

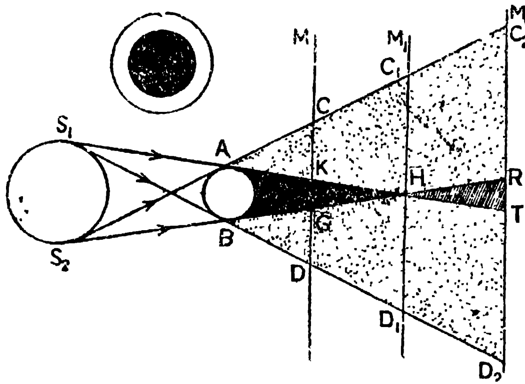
হইতে নির্গত ও S_2A এবং S_2B প্রভৃতি রেখাদ্বারা সীমাবদ্ধ আলোক রশ্মিগুলি যে শঙ্কু সৃষ্টি করিবে তাহাও পর্দায় পৌঁছিবে না। ফলে G হইতে H পর্যন্ত ছায়ার সৃষ্টি হইবে। আলোক প্রভবের অন্যান্য মধ্যবর্তী বিন্দুদ্বারা AB-র যে ছায়া সৃষ্টি হইবে তাহা G এবং F-এর মধ্যে অবস্থিত হইবে। সুতরাং পর্দায় AB বস্তুর যে সাধারণ ছায়া হইবে তাহা G হইতে F পর্যন্ত বিস্তৃত হইবে। কিন্তু এই সাধারণ ছায়ার সর্বত্র অন্ধকারের গাঢ়তা এক নয়। লক্ষ্য করিলে বোঝা যাইবে, EH অংশে S_1 বা S_2 অথবা ইহাদের মধ্যবর্তী কোন বিন্দু হইতে আলোক পৌঁছায় না। সুতরাং এই অংশের অন্ধকার সর্বাপেক্ষা গাঢ় হইবে। এই অংশকে **প্রচ্ছায়া** (umbra) বলে। কিন্তু EG বা HF অংশ তত অন্ধকার নয়—কারণ, EG অংশে প্রভবের তলার দিক হইতে কোন আলো পৌঁছায় না; কিন্তু প্রভবের উপরের দিক হইতে আলো পৌঁছাইবে। তেমনি HF অংশে প্রভবের উপর হইতে কোন আলো পৌঁছায় না, কিন্তু তলার দিক হইতে আলো পৌঁছায়। সুতরাং EG এবং HF অংশ আংশিক অন্ধকারাচ্ছন্ন থাকিবে। এই আংশিক অন্ধকারযুক্ত অংশগুলিকে **উপচ্ছায়া** (penumbra) বলে। 1·4 নং চিত্রের ডানদিকে ছায়ার সম্পূর্ণ প্রকৃতি দেখানো হইল। উহার

মধ্যস্থল গাঢ় অন্ধকারাচ্ছন্ন গোলাকার প্রচ্ছায়া এবং উহার চতুর্দিকে বেষ্টন করিয়া গোলাকার আংশিক অন্ধকারাচ্ছন্ন উপচ্ছায়া।

প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া লক্ষ্য করিলে বোঝা যায়, পর্দা দূরে সরাইলে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া উভয়েই আকারে বৃদ্ধি পাইবে।

(3) **বিস্তৃত আলোক প্রভব ও ক্ষুদ্রতর অস্বচ্ছ বস্তু** (Extended source and smaller object)ঃ

S_1S_2 একটি বিস্তৃত আলোক প্রভব এবং AB একটি অস্বচ্ছ বস্তু। আলোক প্রভবের সাইজ AB বস্তুর চাইতে বড়। M একটি পর্দা (1·5 নং চিত্র)। পূর্বের ন্যায় বিস্তৃত প্রভবকে



চিত্র 1·5

ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দু প্রভবের সমষ্টি বলিয়া ধরা যাইতে পারে। মনে কর, S_1 এবং S_2 ঐরূপ দুইটি প্রান্ত বিন্দু-প্রভব।

এখন S_1 বিন্দু-প্রভব হইতে নির্গত এবং S_1A ও S_1B প্রভৃতি সরলরেখা কর্তৃক সীমাবদ্ধ আলোক-রশ্মিগুলি যে আলোকশঙ্কুর সৃষ্টি করিবে তাহা AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে এবং পর্দায় পৌঁছাইবে না। ফলে পর্দায় K হইতে D পর্যন্ত ছায়া সৃষ্টি হইবে।

তেমনি S_2A ও S_2B প্রভৃতি রেখা কর্তৃক সীমাবদ্ধ আলোকরশ্মিগুলি যে-আলোক-শঙ্কু সৃষ্টি করিবে তাহাও AB বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে। সুতরাং তাহারাও পর্দায় পৌঁছাইবে না এবং G হইতে C পর্যন্ত ছায়ার সৃষ্টি হইবে।

S_1 এবং S_2 বিন্দুর মধ্যবর্তী অন্যান্য আলোক বিন্দু যে-ছায়াগুলির সৃষ্টি করিবে তাহা C এবং D-র ভিতর অবস্থান করিবে। অর্থাৎ C হইতে D পর্যন্ত AB বস্তুর সাধারণভাবে ছায়া সৃষ্টি হইবে।

এখানেও লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, KG অংশে আলোক প্রভবের কোন বিন্দু হইতেই আলো পৌঁছায় না। সুতরাং KG অংশকে প্রচ্ছায়া বলা যাইতে পারে। আর KC অথবা GD অংশে আংশিকভাবে আলো পৌঁছায়। সুতরাং উহারা উপচ্ছায়া।

আরও লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, প্রচ্ছায়া অংশ একটি অভিসারী (converging) এবং উপচ্ছায়া অংশ একটি অপসারী (diverging) শঙ্কু তৈয়ারী করে—অর্থাৎ পর্দা দূরে সরাইয়া লইলে প্রচ্ছায়া অংশ ক্রমশ কমিয়া আসিবে কিন্তু উপচ্ছায়া অংশ ক্রমশ বৃদ্ধি পাইবে।

যদি পর্দাকে M_1 অবস্থানে লইয়া যাওয়া হয় তবে প্রচ্ছায়া একটি বিন্দুতে (H) পরিণত হয়। যদি আরও সরাইয়া M_2 অবস্থানে লইয়া যাওয়া হয় তবে আর প্রচ্ছায়া থাকিবে না। ইহার পরিবর্তে একটি বিপরীত অপসারী (diverging) শঙ্কু HRT সৃষ্টি হইবে। এইরূপ অবস্থায় RT অংশে প্রভবের পরিধির (peripheral) নিকটস্থ অংশ হইতে কিছু কিছু আলো আসিয়া উপচ্ছায়ার সৃষ্টি করিবে। সুতরাং R এবং T-এর মধ্যবর্তী যে-কোন অংশ হইতে প্রভবের দিকে তাকাইলে AB বস্তুকে সম্পূর্ণ অন্ধকারাচ্ছন্ন দেখাইবে কিন্তু তাহার চতুর্দিকে আলোকিত অংশ দেখা যাইবে (1.5 নং চিত্রের উপরে যেমন দেখানো হইয়াছে)। পর্দা আরও দূরে সরাইয়া লইলে উপচ্ছায়ার অন্ধকারের গাঢ়তা হ্রাস পাইতে থাকিবে। অবশেষে পর্দায় আলো ও ছায়ার পার্থক্য আর বোঝা যাইবে না।

[এই প্রসঙ্গে বলা যাইতে পারে, গাছের পাতার ছায়া যখন মাটিতে পড়ে তখন প্রচ্ছায়া ও পাতলা উপচ্ছায়া লক্ষিত হয়। এখানে সূর্য আলোক-প্রভব, পাতা অস্বচ্ছ বস্তু ও মাটি পর্দা। পাতা ও মাটির দূরত্ব কম বলিয়া এবং সূর্য বহু দূরে থাকায় প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া দুই-ই দেখা যায়। তেমনি যখন এরোপ্লেন বা পাখী নীচু দিয়া উড়িয়া যায় তখন মাটিতে ছায়া পড়ে কিন্তু উহারা ক্রমশ উচ্চে উঠিলে (অর্থাৎ পর্দা হইতে বস্তুর দূরত্ব বাড়িতে থাকিলে) ছায়া পাতলা হইয়া অবশেষে অদৃশ্য হইয়া যায়।]

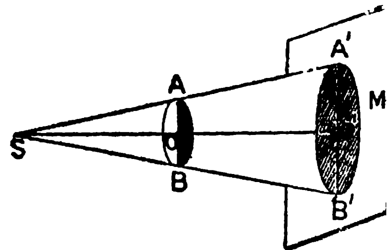
Examples : (1) একটি বিন্দুপ্রভব হইতে 1 ফুট দূরে 4 ইঞ্চি ব্যাসযুক্ত একটি গোলাকার অস্বচ্ছ বস্তু রাখা আছে এবং বস্তুটির কেন্দ্র হইতে 1 ফুট দূরে একখানি পর্দা আছে। পর্দার উপরে যে ছায়া সৃষ্টি হইবে তাহার ব্যাস কত?

উ। মনে কর, S বিন্দু-প্রভব, AB বস্তু এবং M পর্দার উপর A′B′ বস্তুর ছায়া (চিত্র 1·6 নং)। এখন SO=1 ফুট এবং OO′=1 ফুট। ∴ SO′=2 ফুট; AB=4 ইঞ্চি; আমরা লিখিতে পারি,

$$\frac{AB}{A'B'}=\frac{SO}{SO'} \text{ অথবা,}$$

$$\frac{4}{A'B'}=\frac{1\times 12}{2\times 12} \quad \therefore A'B'=8 \text{ ইঞ্চি}$$

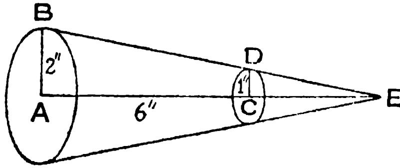
অর্থাৎ, ছায়ার ব্যাস=8 ইঞ্চি।



চিত্র 1·6

(2) একটি অন্ধকার ঘরে 4 ইঞ্চি ব্যাসের একটি কাচের কুণ্ডের ভিতর একটি বৈদ্যুতিক

বাতি রাখা আছে। উহা হইতে 6 ইঞ্চি দূরে একটি ধাতব বল আছে। বলটির ব্যাস 2 ইঞ্চি ; বলটির প্রচ্ছায়ার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।



চিত্র 1·7

উ। চিত্র নং 1·7 দেখ। B হইল কাচের কুণ্ড, D ধাতব বল, এবং CE প্রচ্ছায়ার দৈর্ঘ্য। প্রশ্ন হইতে আমরা লিখিতে পারি $AB=2''$ $CD=1''$, $AC=6''$ এবং $CE=x$ (ধর)।

এখন ABE এবং CDE ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ্য বলিয়া,

$$\frac{AB}{AE}=\frac{CD}{x} \text{ or } \frac{2}{6+x}=\frac{1}{x} \text{ or } 2x=6+x \;\therefore\; x=6 \text{ ইঞ্চি।}$$

অর্থাৎ প্রচ্ছায়ার দৈর্ঘ্য হইবে 6 ইঞ্চি।

(3) পৃথিবীর কোন এক বিন্দুতে সূর্য 32 মিনিট চাপের কোণ উৎপন্ন করে। 100 ফুট দীর্ঘ ডানাবিশিষ্ট একটি বিমান ঐ বিন্দু হইতে কমপক্ষে কত উচ্চে উঠিলে মাটিতে বিমানটির ছায়া শুধু উপচ্ছায়াযুক্ত হইবে ?

উ। নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে বিমানের ন্যূনতম উচ্চতায় ছায়ার প্রচ্ছায়া অংশ একটি বিন্দুতে পরিণত হইবে এবং সমগ্র ছায়া উপচ্ছায়া অধিকার করিবে। 1·7 নং চিত্রে E পৃথিবী-পৃষ্ঠের নির্দিষ্ট বিন্দু হইলে C হইবে বিমানের অবস্থান এবং CE হইবে ভূপৃষ্ঠ হইতে বিমানের উচ্চতা। এখন সূর্য E বিন্দুতে 32 মিনিট চাপবিশিষ্ট কোণ উৎপন্ন করিলে বিমানের ডানাও ঐ বিন্দুতে ঐ কোণ উৎপন্ন করিবে (চিত্র দেখ)।

$$\text{এখন } 32'=\frac{32^\circ}{60}=\frac{32}{60}\times\frac{2\times3\cdot14}{360} \text{ রেডিয়ান}$$

বৃত্তীয়মান পদ্ধতি অনুযায়ী বিমানের ডানা E বিন্দুতে যে-কোন উৎপন্ন করে তাহা

$$=\frac{\text{ডানার দৈর্ঘ্য}}{CE}=\frac{100}{CE}$$

$$\therefore \frac{100}{CE}=\frac{32}{60}\times\frac{2\times3\cdot14}{360} \qquad \therefore CE=\frac{100\times60\times360}{32\times2\times3\cdot14}$$

$$=10{,}748 \text{ ফুট (প্রায়)।}$$

অতএব, বিমানের ন্যূনতম উচ্চতা $=$ 10,748 ফুট।

1·5. **গ্রহণ (Eclipses) :** অস্বচ্ছ বস্তু কর্তৃক ছায়া সৃষ্টির ফলে সূর্য বা চন্দ্রগ্রহণ হয়। (অমাবস্যায় যখন চাঁদ, পৃথিবী ও সূর্যের মধ্যে আসে তখন চাঁদের ছায়া পৃথিবীতে পড়িয়া সূর্যগ্রহণের সৃষ্টি করে। আবার পূর্ণিমায় যখন চাঁদ

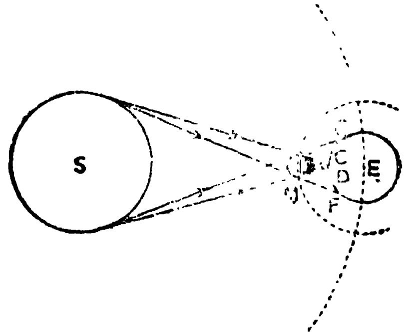
ও সূর্যের মাঝখানে পৃথিবী আসে তখন পৃথিবীর ছায়ার ভিতর চাঁদ প্রবেশ করিলে চন্দ্রগ্রহণ হয়।) কাজেই সূর্যগ্রহণের সময় চাঁদ অস্বচ্ছ বস্তুর কাজ করে এবং চন্দ্রগ্রহণের সময় পৃথিবী অস্বচ্ছ বস্তুর কাজ করে। দুই গ্রহণ কি করিয়া সংঘটিত হয় নিম্নে তাহার আলোচনা করা হইল।

[দ্রষ্টব্য: পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব 9×10^6 মাইল; চন্দ্রের দূরত্ব 21×10^4 মাইল এবং সূর্যের ব্যাস পৃথিবীর ব্যাসের 109 গুণ। পৃথিবীর ছায়ার প্রচ্ছায়া অংশ $8{\cdot}6\times10^5$ মাইল দীর্ঘ এবং ইহা চন্দ্র ছাড়াইয়া বহুদূর পর্যন্ত বিস্তৃত।

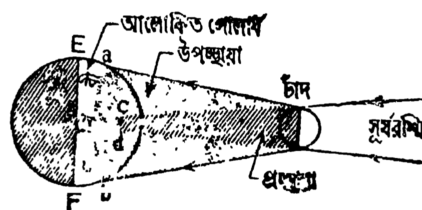
এই দূরত্বগুলি এত অধিক যে স্বল্প পরিসরে কোন স্কেল অনুযায়ী ছবি আঁকা সম্ভব নহে। তাই 1·8 হইতে 1·11 পর্যন্ত চিত্রগুলি কোন স্কেল অনুযায়ী আঁকা হয় নাই।]

সূর্যগ্রহণ: সূর্যগ্রহণ তিন রকমের হইতে পারে—(1) পূর্ণগ্রহণ, (2) খণ্ডগ্রহণ ও (3) বলয় গ্রহণ।

নিজেদের কক্ষপথে পরিভ্রমণ করিতে করিতে অমাবস্যায় যখন পৃথিবী (E) ও সূর্যের (S) মাঝখানে চাঁদ (M) আসে (1·8 নং চিত্র) তখন সূর্য হইতে আলোকরশ্মি অস্বচ্ছ চাঁদ কর্তৃক বাধা-প্রাপ্ত হইয়া ছায়ার সৃষ্টি করে। এই ছায়ার CD অংশ প্রচ্ছায়া এবং CG ও DF অংশ উপচ্ছায়া। চাঁদের ছায়ার প্রচ্ছায়া অংশ পৃথিবীর যে জায়গায় পড়ে সেখানকার লোক সূর্যের কোন অংশই দেখিতে পায় না এবং CG ও DF অংশ পৃথিবীর যে-সব জায়গায় পড়ে সেখানকার লোক সূর্যের কিছু অংশ দেখিতে পায়। CG অংশের লোক সূর্যের উপরিভাগ দেখিবে এবং DF অংশের লোক সূর্যের নিম্নভাগ দেখিবে। সুতরাং CD অংশের লোকের নিকট সূর্যের **পূর্ণ গ্রহণ** (total eclipse), CG বা DF অংশের লোকের নিকট সূর্যের **খণ্ড গ্রহণ** (partial eclipse) হইবে। চাঁদ পৃথিবী অপেক্ষা অনেক ছোট বলিয়া চাঁদের ছায়াও খুব ছোট। এই কারণে পথিবীর খুব কম অংশ চাঁদের প্রচ্ছায়ার মধ্যে পড়ে। সুতরাং পৃথিবীর খুব অল্প জায়গা হইতে সূর্যের পূর্ণ গ্রহণ দেখা যায়। তা'ছাড়া চাঁদের ছায়া দৈর্ঘ্যে ছোট হওয়ায় পৃথিবীর সমস্ত আলোকিত গোলার্ধকে ((illuminated hemisphere) আবৃত করিতে পারে না। ফলে আলোকিত গোলার্ধের সকল স্থান হইতেই সূর্যগ্রহণ দেখিতে পাওয়া যায় না।



সূর্য গ্রহণ
চিত্র 1·8



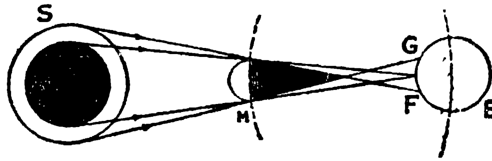
চিত্র 1·9

নং 1·9 লক্ষ্য কর। ঐ চিত্রে *ab* অংশ চাঁদের ছায়ার উপচ্ছায়া। উহা পৃথিবীর

আলোকিত গোলার্ধের কিছু অংশ আবৃত করিয়াছে। কাজেই ঐ গোলার্ধের বাকী অংশ হইতে সূর্যগ্রহণ দেখা যাইবে না।)

(সূর্যের পূর্ণগ্রহণের সময় রাত্রির মত সম্পূর্ণ অন্ধকার হয় এবং আকাশে চাঁদ দেখা যায় কিন্তু তখন পৃথিবী হইতে চাঁদকে তামাটে বর্ণের থালার মত দেখায়। ইহার কারণ চাঁদের যে-পিঠ পৃথিবীর দিকে থাকে তাহাতে সরাসরি সূর্যালোক পড়িতে পারে না। কিন্তু পৃথিবী কর্তৃক প্রতিফলিত সূর্যালোক পড়ে। প্রতিফলিত আলোকরশ্মি তেমন জোরালো নয় বলিয়া চাঁদকে তামাটে বর্ণ দেখায়।)

[নিজ নিজ কক্ষপথে পরিভ্রমণ করিতে করিতে চাঁদ ও পৃথিবীর ভিতরকার দূরত্বের পরিবর্তন হয়। সময়-ভেদে উহাদের দূরত্বের তারতম্য হওয়ায় অনেক সময় এমন হয় যে চাঁদের প্রচ্ছায়া পৃথিবী স্পর্শ করিবার পূর্বেই শেষ হইয়া যায়। তৎপরিবর্তে উহাকে বাড়াইয়া যে বিপরীত অপসারী শঙ্কু হয় তাহা পৃথিবীকে স্পর্শ করে। 1·10 নং চিত্রে পৃথিবীর GF অংশে ঐ শঙ্কু স্পর্শ করিয়াছে। সুতরাং পৃথিবীর ঐ স্থানে অবস্থিত লোকেরা সূর্যের দিকে তাকাইলে সূর্যের মাঝখানে

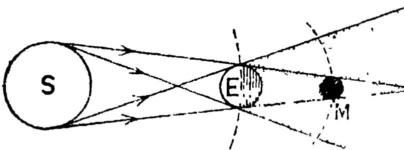


সূর্যের বলয়গ্রহণ
চিত্র 1·10

একটি অন্ধকারাবৃত বৃত্তাকার অংশ ও উহার চতুর্দিকে একটি আলোক-বেষ্টনী দেখিতে পাইবে। এই ধরনের গ্রহণকে **বলয় গ্রাস** বা **বলয় গ্রহণ** (annular eclipse) বলে।]

চন্দ্র গ্রহণ ঃ আমরা জানি, চন্দ্রের নিজস্ব কোন আলো নাই। সূর্য হইতে আলো চন্দ্র কর্তৃক প্রতিফলিত হয় বলিয়া চন্দ্রকে উজ্জ্বল দেখায়। পূর্ণিমায় চন্দ্র ও সূর্যের মাঝখানে পৃথিবী অবস্থিত হয়।

নিজ নিজ কক্ষপথে পরিভ্রমণ করিতে করিতে পূর্ণিমায় যখন চাঁদ (M) ও সূর্যের (S) মাঝখানে পৃথিবী (E) আসিয়া পড়ে তখন পৃথিবীর ছায়া চন্দ্রের উপর গিয়া পড়ে (1·11 নং চিত্র)। যখন চাঁদ পৃথিবীর প্রচ্ছায়া কর্তৃক সম্পূর্ণ আবৃত হয় তখন উহা আর দৃষ্টির গোচরে থাকে না। তখন চন্দ্রের পূর্ণগ্রহণ হয়। আর যদি চন্দ্রের কিছু অংশ প্রচ্ছায়া কর্তৃক এবং কিছু অংশ উপচ্ছায়া কর্তৃক আবৃত হয় তবে চন্দ্রের খণ্ডগ্রাস হয়।



চন্দ্রগ্রহণ
চিত্র 1·11

(পৃথিবীর প্রচ্ছায়ার ভিতর সম্পূর্ণ প্রবেশের পূর্বে চন্দ্রকে পৃথিবীর উপচ্ছায়ার ভিতর প্রবেশ করিতে হয়। উপচ্ছায়া অংশে সূর্য হইতে কম আলো পৌঁছায়। এই কারণে চন্দ্রগ্রহণ সুরু হইবার কিছু পূর্বেই উহাকে খানিকটা ম্লান দেখায়। ঠিক এই কারণে গ্রহণ সম্পূর্ণ ছাড়িবার পরও চাঁদকে কিছুক্ষণ ম্লান দেখাইবে, কারণ প্রচ্ছায়া হইতে বাহির হইয়া চাঁদ পুনরায় উপচ্ছায়ায় প্রবেশ করে।

পৃথিবীর আকার চন্দ্র অপেক্ষা বহুগুণ বড় হওয়ায় পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর শীর্ষবিন্দু সর্বদা চন্দ্রের কক্ষপথ ছাড়াইয়া যায়। সুতরাং চন্দ্রের বলয় গ্রাস কখনও সম্ভব নয়।)

সব অমাবস্যায় বা পূর্ণিমায় গ্রহণ হয় না কেন?

(গ্রহণ আলোচনার সময় বলা হইয়াছে যে অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ ও পূর্ণিমায় চন্দ্রগ্রহণ হয়। কিন্তু প্রত্যেক অমাবস্যা এবং প্রত্যেক পূর্ণিমায় ত' গ্রহণ হয় না। ইহার কারণ কি?

[গ্রহণ—চন্দ্রের অথবা সূর্যের হউক—হইতে গেলে সূর্য, চন্দ্র ও পৃথিবী এক সরলরেখায় আসিতে হইবে। কিন্তু পৃথিবীর পরিভ্রমণের কক্ষতল (plane of orbit) এবং চন্দ্রের পরিভ্রমণের কক্ষতল এক নহে। এই দুই তলের মধ্যে প্রায় 5° ডিগ্রি ব্যবধান আছে। ইহার ফলে প্রত্যেক পূর্ণিমাতেই চাঁদ পৃথিবীর ছায়ার ভিতর যায় না—হয় উপরে কিংবা নীচে অবস্থান করে। সুতরাং গ্রহণ হয় না। তেমনি প্রত্যেক অমাবস্যাতেও চাঁদের ছায়া পৃথিবীর উপরে পড়িতে পারে না। যে-পূর্ণিমা বা অমাবস্যাতে ইহারা এক সরলরেখায় আসিবে তখনই গ্রহণ হইবে।]

[পৃথিবীর উপগ্রহ যেমন চাঁদ—তেমনি অন্যান্য গ্রহেরও এক বা একাধিক উপগ্রহ আছে। ইহারা নিজস্ব গ্রহের চতুর্দিকে পরিভ্রমণ করে এবং যখনই উহারা গ্রহের ছায়ার ভিতর প্রবেশ করে তখন উহাদের গ্রহণ হয়। বৃহস্পতি গ্রহের এইরূপ একটি উপগ্রহের গ্রহণ লক্ষ্য করিয়া ডেনমার্কের জ্যোতিবিজ্ঞানী রোমার সর্বপ্রথম আলোকের গতিবেগ নির্ণয় করিয়াছিলেন (পদার্থবিজ্ঞান, প্রথমভাগ দ্রষ্টব্য)।)]

1·6. **ফটোমিতি** (Photometry): আলোক একপ্রকার শক্তি, ইহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। শক্তি মাত্রই পরিমাপ যোগ্য। সুতরাং আলোকেরও পরিমাপ সম্ভব। আলোক-শক্তির পরিমাপ পদ্ধতিকে ফটোমিতি বলা হয় এবং যে সকল যন্ত্রের সাহায্যে এই পরিমাপ করা হয় তাহাদের বলা হয় **ফটোমিটার** (photometer)।

ফটোমিতি পর্যালোচনার জন্য কয়েকটি রাশির সহিত পরিচয় প্রয়োজন। প্রথমে এই রাশিগুলি সম্পর্কে আলোচনা করা হইল।

ফটোমিতি সম্পর্কিত কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ রাশি (Some important terms in connection with photometry) :

(i) **উৎসের দীপনশক্তি** (Illuminating power or luminous intensity of a source): একটি তেলের দীপ যে-আলো প্রদান করে একটি বৈদ্যুতিক বাতি তাহা অপেক্ষা আরো তীব্র আলো প্রদান করে, আমরা সহজেই বুঝি। কোন উৎসের দীপনশক্তি বলিতে সাধারণভাবে আমরা বুঝি যে আলোকসৃষ্টির ব্যাপারে ঐ উৎস কত তীব্র। আমরা বলি যে বৈদ্যুতিক

বাতির দীপনশক্তি তেলের বাতির দীপনশক্তি অপেক্ষা অনেক বেশী। ইহার বিজ্ঞানসম্মত সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

কোন উৎস হইতে একক দূরত্বে একক বর্গস্থানে প্রতি সেকেণ্ডে যতখানি আলো লম্বভাবে পড়িবে তাহাকে ঐ উৎসের দীপনশক্তি বলা হয়।

বিভিন্ন উৎসের দীপনশক্তি একটি প্রমাণ দীপের (standard candle) দীপনশক্তির সহিত তুলনামূলকভাবে প্রকাশ করা হয়। এই প্রমাণ দীপটি স্পারম অ্যাসেটিক মোমের (sperm acetic wax) তৈয়ারী। ইহার ব্যাস $\frac{7}{8}$ ইঞ্চি, ওজন $\frac{1}{6}$ পাউণ্ড এবং জ্বলনের হার ঘন্টায় 120 গ্রেন। এই প্রমাণ দীপের দীপনশক্তি 1 **ক্যাণ্ডেল পাওয়ার** (candle power) ধরা হয়। ইহাকে সংক্ষেপে বলা হয় **সি.পি.** (c.p.)। এই সি.পি.-ই হইল দীপনশক্তির একক। যেমন, একটি বৈদ্যুতিক বাতির দীপনশক্তি 20 c.p. বলিলে বোঝা যায় ঐ বাতির দীপনশক্তি প্রমাণ বাতির 20 গুণ।

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে ব্যবহারিক দিক হইতে উপরোক্ত প্রমাণ বাতি নানাকারণে অসুবিধাজনক বলিয়া মনে হইয়াছে। তাই আজকাল সরকারীভাবে **হারকোর্ট পেনটেন** বাতিকে (Hercourt Pentane lamp) প্রমাণ বাতি হিসাবে ধরা হয়। এই বাতিতে বায়ু এবং পেনটেন বাষ্পের মিশ্রণকে জ্বালানো হয় এবং ইহা পূর্বের প্রমাণ বাতির দশগুণ আলো বিকীর্ণ করে। সুতরাং আন্তর্জাতিক ক্যাণ্ডেল পাওয়ার বলিতে আমরা হারকোর্ট পেনটেন বাতির দীপনশক্তির এক দশমাংশকে বুঝি।

জার্মানীতে প্রমাণ বাতি হিসাবে **হেফনার বাতি** (Hefner lamp) ব্যবহৃত হয়। এই বাতিতে জ্বালানী হিসাবে অ্যামাইল অ্যাসিটেট ব্যবহার করা হয় এবং ইহার দীপনশক্তি 0·9 আন্তর্জাতিক ক্যাণ্ডেল পাওয়ারের সমান। ফ্রান্সে প্রমাণ বাতি হইতেছে **কারসেল বাতি** (Carcel lamp)। ইহার দীপনশক্তি 9·6 আন্তর্জাতিক ক্যাণ্ডেল পাওয়ারের সমান।

বিভিন্ন দেশে প্রমাণ বাতি বিভিন্ন বলিয়া এবং উহাদের দীপনশক্তিও পুরাতন প্রমাণ দীপের তুলনায় বিভিন্ন হওয়ায় আন্তর্জাতিক কাজকর্মে বিশেষ অসুবিধা হয়। তাই 1948 খ্রীষ্টাব্দে একটি সর্বসম্মত আন্তর্জাতিক প্রমাণ বাতি স্থিরীকৃত হইয়াছে। প্লাটিনামের গলনাংকের তাপ-মাত্রায় রক্ষিত কোন কৃষ্ণবস্তু (black body) বিকিরকের 1 বর্গ সেন্টিমিটার ছিদ্র হইতে যে আলোক নির্গত হয় তাহার 60 ভাগের একভাগকে আন্তর্জাতিক দীপনশক্তির একক গণ্য করা হয়। ইহার নাম **ক্যাণ্ডেলা** (candela)।

(ii) **আলোকপ্রবাহ** ((Luminous flux or flux of light) : একটি বিন্দু আলোকউৎস কল্পনা কর। ঐ বিন্দুপ্রভব (point source) হইতে চতুর্দিকে সমভাবে আলোকশক্তি ছড়াইয়া পড়িবে। ঐ বিন্দুপ্রভবকে কেন্দ্র করিয়া একটি বদ্ধতল (closed surface) আছে ধরিয়া লও। তাহা হইলে যে-হারে এই বদ্ধতল অতিক্রম করিয়া আলোকশক্তি ছড়াইয়া পড়িবে, তাহাকে আলোক-প্রবাহ বলে।

আলোকপ্রবাহের একক হইল **লুমেন** (lumen)। লুমেনের সংজ্ঞা নিম্নরূপ : এক ক্যাণ্ডেল দীপনশক্তির কোন বিন্দুপ্রভব একক ঘনকোণের মধ্য দিয়া যতখানি আলো পাঠায়, তাহাকে এক লুমেন বলে। যেহেতু বদ্ধতল বিন্দুপ্রভবে মোট 4π ঘনকোণ উৎপন্ন করে, অতএব **1 ক্যাণ্ডেলা $=4\pi$ লুমেন।**

(iii) **দীপনমাত্রা** (Intensity of illumination or Illumination) : খোলা জায়গায় যেখানে সূর্যালোক সরাসরি পড়িতে পারে সেখানকার উজ্জ্বলতা ঢাকা জায়গার উজ্জ্বলতা অপেক্ষা বেশী হয় একথা আমাদেব সকলেরই জানা আছে। অর্থাৎ একই উৎস কর্তৃক বিভিন্ন তল (surface) বিভিন্ন রকম আলোকজ্জ্বল হইতে পারে। দীপনমাত্রা বলিতে সাধারণভাবে আমরা বুঝি যে, কোন তল উৎস কর্তৃক কত বেশী আলোকজ্জ্বল হইয়াছে। ইহার বিজ্ঞানসম্মত সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

কোন বিন্দুর দীপনমাত্রা বলিতে ঐ বিন্দুর চতুর্দিকস্থ একক বর্গ পরিমিত স্থানে প্রতি সেকেণ্ডে লম্বভাবে যে-পরিমাণ আলো পড়িতেছে তাহাই বুঝায়।

যদি A বর্গস্থানে সমভাবে প্রতি সেকেণ্ডে Q পরিমাণ আলো লম্বভাবে পড়ে, তবে ঐ স্থানের দীপনমাত্রা, $I=\frac{Q}{A}$

এফ. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী দীপনমাত্রার একক **ফুট-ক্যাণ্ডেল** (foot-candle)। কোন তলের উপর লম্বভাবে প্রতি বর্গফুটে প্রতি সেকেণ্ডে এক লুমেন আলো পড়িলে উক্ত ক্ষেত্রের দীপন-মাত্রাকে এক ফুট-ক্যাণ্ডেল বলা হয়। ইহাকে অনেক সময় লুমেন/বর্গফুট এই নামেও উল্লেখ করা হয়।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে দীপনমাত্রার একক হইল **লাক্স** (lux)। এক বর্গ মিটার স্থানে প্রতি সেকেণ্ডে লম্বভাবে এক লুমেন আলো পড়িলে, ঐ তলের দীপনমাত্রাকে বলা হয় লাক্স। ইহাকে অনেক সময় **মিটার-ক্যাণ্ডেল** (metre-candle) বা লুমেন/বর্গমিটার এই নামেও অভিহিত করা হয়।

আবার, এক বর্গ সেন্টিমিটার স্থানে প্রতিসেকেণ্ডে লম্বভাবে এক লুমেন আলো পড়িলে, সেখান-কার দীপনমাত্রাকে বলা হয় **ফট** (phot)। ইহাকে লুমেন/বর্গ সেন্টিমিটার এই নামেও অভিহিত করা হয়।

উপরোক্ত সংজ্ঞাগুলি হইতে নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলি পাওয়া যায় :

1 লাক্স $=$ 1 মিটার-ক্যাণ্ডেল $=$ 1 লুমেন/বর্গমিটার

1 ফট $=$ 1 সেন্টিমিটার-ক্যাণ্ডেল $=$ 1 লুমেন/বর্গসেন্টিমিটার $=10^4$ লাক্স

1 ফুট-ক্যাণ্ডেল $=$ 1 লুমেন/বর্গফুট $=10.764$ লাক্স

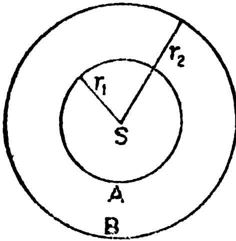
এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে সূর্যের আলোকে ভূপৃষ্ঠ আলোকিত হইলে, ভূপৃষ্ঠের দীপনমাত্রা প্রায় 60,000 ফুট-ক্যাণ্ডেলের সমান হয় ; আর পূর্ণিমার রাত্রিতে চাঁদের আলো ভূপৃষ্ঠে পড়িলে দীপনমাত্রা হয় মাত্র 1 ফুট-ক্যাণ্ডেলের সমান। প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে, চন্দ্রের

নিজস্ব কোন আলো নাই; সূর্যের আলো চন্দ্রপৃষ্ঠে পড়িয়া প্রতিফলিত হইলে তাহাকেই চন্দ্রালোক বলা হয়।

(iv) **ঔজ্জ্বল্য** (Brightness or Luminance): আলোকউৎস আকারে বিস্তৃত হইলে উহার দীপনশক্তিকে ঔজ্জ্বল্য দ্বারা প্রকাশ করা হয়। উৎসের প্রতি-একক ক্ষেত্রফল হইতে কোন বিশেষ দিকে অভিলম্বভাবে প্রতি সেকেণ্ডে যতখানি আলো যায় তাহাকে ঐ বিশেষ দিকে উৎসের ঔজ্জ্বল্য বলা হয়। অর্থাৎ উৎসের প্রতি একক ক্ষেত্রে দীপনশক্তিকেই উহার ঔজ্জ্বল্য বলে।

A ক্ষেত্রফলযুক্ত কোন উৎসের দীপনশক্তি P হইলে, উহার ঔজ্জ্বল্য $B=\frac{P}{A}$.

****1.7 দীপনমাত্রা সম্পর্কিত ব্যস্তবর্গের সূত্র:** (Inverse square law in connection with illumination): সূত্রটি এইরূপ: কোন উৎস কর্তৃক কোন বিন্দুতে উৎপন্ন দীপনমাত্রা ঐ বিন্দু ও উৎসের ভিতরকার দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। সূত্রটি নিম্নলিখিতরূপে প্রমাণ করা যায়:



চিত্র 1·12

S একটি বিন্দু উৎস (চিত্র 1·12)। ইহা হইতে সমভাবে চতুর্দিকে আলোকরশ্মি ছড়াইয়া পড়িবে। মনে কর, প্রতি সেকেণ্ড ঐ উৎস হইতে Q পরিমাণ আলোক চতুর্দিকে নির্গত হইতেছে। A এবং B দুইটি গোলক কল্পনা করা হইল যাহাদের কেন্দ্র S এবং ব্যাসার্ধ যথাক্রমে r_1 এবং r_2.

এখন, S উৎস হইতে প্রতি সেকেণ্ডে Q পরিমাণ আলোক A গোলক অতিক্রম করিবে। সুতরাং উহার ভিতরের পৃষ্ঠে যে কোন বিন্দুতে দীপনমাত্রা I_1 ধরিলে,

$$I_1=\frac{Q}{4\pi r_1^2} \qquad [4\pi r_1^2=\text{A গোলকের ক্ষেত্রফল})$$

তেমনি, A গোলকের পরিবর্তে B গোলক রাখিলে, ঐ একই পরিমাণ আলোক প্রতি সেকেণ্ডে B গোলক অতিক্রম করিবে। সুতরাং উহার ভিতরের পৃষ্ঠে যে কোন বিন্দুতে দীপনমাত্রা I_2 ধরিলে,

$$I_2=\frac{Q}{4\pi r_2^2} \qquad (4\pi r_2^2=\text{B গোলকের ক্ষেত্রফল})$$

$$\therefore \quad \frac{I_1}{I_2}=\frac{Q}{4\pi r_1^2}\Big/\frac{Q}{4\pi r_2^2}=\frac{r_2^2}{r_1^2}$$ অর্থাৎ, $I \propto \frac{1}{r^2}$; ইহাই ব্যস্তবর্গের সূত্র।

1·8 **দীপনমাত্রা ও দীপনশক্তির পারস্পরিক সম্পর্ক:** দুইটি সমকেন্দ্রিক গোলক A এবং B কল্পনা কর (চিত্র 1·12)। ধর, A গোলকের ব্যাসার্ধ 1 (এক একক) এবং B গোলকের ব্যাসার্ধ r; উহাদের কেন্দ্রে একটি বিন্দু প্রভব S আছে যাহা হইতে প্রতি সেকেণ্ডে সমভাবে চতুর্দিকে

Q পরিমাণ আলো নির্গত হইতেছে। L হইল S উৎসের দীপনশক্তি এবং I হইল B গোলকের ভিতরের পৃষ্ঠে যে কোন বিন্দুতে দীপনমাত্রা। এখন, দীপনশক্তি এবং দীপনমাত্রার সংজ্ঞা পর্যালোচনা করিয়া আমরা বলিতে পারি যে, এক একক দূরত্বের যে দীপনমাত্রা তাহাই উৎসের দীপনশক্তি।

যেহেতু, একই পরিমাণ (Q) আলোক A এবং B গোলক অতিক্রম করে, কাজেই A গোলকের বেলাতে, $L=\frac{Q}{4\pi(1)^2}$ অথবা, $Q=4\pi L$ [$4\pi(1)^2$=A গোলকের ক্ষেত্রফল]

এখন, B গোলকের বেলাতে, $I=\frac{Q}{4\pi r^2}=\frac{4\pi L}{4\pi r^2}=\frac{L}{r^2}$ [$4\pi r^2$=B গোলকের ক্ষেত্রফল]

$$\text{অর্থাৎ দীপনমাত্রা}=\frac{\text{দীপনশক্তি}}{\text{দূরত্বের বর্গ}}$$

ইহাই দীপনমাত্রা ও দীপনশক্তির পারস্পরিক সম্পর্ক।

Example : একটি টেবিলের ঠিক উপরে দুইটি বাতি ঝুলানো আছে। একটির দীপনশক্তি 40 c.p. এবং অন্যটির 63 c.p.; টেবিল হইতে উহাদের খাড়া উচ্চতা যথাক্রমে 2ft. এবং 3ft.; বাতি দুইটিকে একটির পর একটি জ্বালাইলে, টেবিলের উপর যে দীপনমাত্রা সৃষ্টি হইবে উহাদের অনুপাত কত?

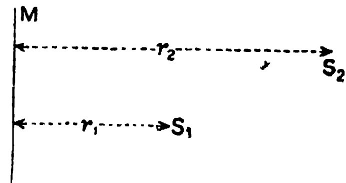
উ। আমরা জানি, $I=\frac{L}{r^2}$

প্রথম বাতির বেলাতে, $I_1=\frac{40}{2\times2}=10$ ft. candles.

দ্বিতীয় " " $I_2=\frac{63}{3\times3}=7$ ft.-candles.

$$\therefore \frac{I_1}{I_2}=\frac{10}{7}$$

1·9. **ফটোমিতির মূলসূত্র** (Principle of photometry) : মনে কর, S_1 এবং S_2 দুইটি আলোকউৎস একটি পর্দা (M) হইতে যথাক্রমে r_1 এবং r_2 দূরত্বে রাখা আছে (চিত্র নং 1·13)। উৎসদ্বয়ের দীপনশক্তি যথাক্রমে L_1 এবং L_2; উহারা ঐ দূরত্বে থাকিয়া যদি পর্দার উপর সমান দীপনমাত্রা সৃষ্টি করে তবে নিম্নলিখিত উপায়ে ফটোমিতির মূলসূত্র নির্ণয় করা যাইবে।



চিত্র 1·13

প্রথম উৎস কর্তৃক পর্দায় সৃষ্ট দীপনমাত্রা $= \frac{L_1}{r_1^2}$

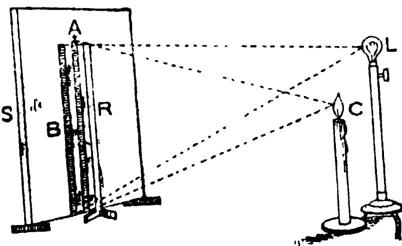
এবং দ্বিতীয় " " " " $\frac{L_2}{r_2^2}$

যেহেতু, দীপনমাত্রা সমান, সেইহেতু, $\frac{L_1}{r_1^2} = \frac{L_2}{r_2^2}$ বা $\frac{L_1}{L_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$

অর্থাৎ দুইটি উৎস যদি কোন পর্দার উপর সমান দীপনমাত্রা উৎপন্ন করে, তবে উহাদের দীপনশক্তি পর্দা হইতে উহাদের দূরত্বের বর্গের সমানুপাতিক। ইহাই ফটোমিতির মূলসূত্র এবং ফটোমিটার যন্ত্রে এই সূত্রের প্রয়োগ করিয়া দীপনশক্তির তুলনা অথবা দীপনশক্তি নির্ণয় করা হয়।

1·10. **ফটোমিটারের সাহায্যে দীপনশক্তির তুলনা** (Comparison of luminous intensities by photometer) :

(ক) **রামফোর্ড ফটোমিটার** (Rumford's photometer) : এই ফটোমিটারে (চিত্র 1·14) একখানি ঘষা কাচের সাদা পর্দা অথবা সাদা কাগজের পর্দার (S) সম্মুখে একটি অস্বচ্ছ ধাতবদণ্ড (R) খাড়া করা থাকে। দণ্ডের সম্মুখে দুইটি আলোকউৎস—ধর, একটি মোমবাতি (C) অন্যটি বিজলীবাতি (L)—রাখা আছে। উহারা প্রত্যেকে পর্দার উপর দণ্ডের একটি করিয়া ছায়া (A এবং B) সৃষ্টি করিবে। ছায়া দুইটি পাশাপাশি থাকিবে। এখন C বাতি যে ছায়াটি তৈরী করিবে L বাতি তাহাকে উজ্জ্বল করিবে; আবার, L বাতি যে ছায়াটি তৈরী করিবে C বাতি উহাকে উজ্জ্বল করিবে। পর্দার বাকি অংশে উভয় বাতিই আলো ফেলিবে। এখন পর্দা হইতে বাতি দুইটির দূরত্ব যদি এমন হয় যে ছায়া দুইটির কৃষ্ণাভা (darkness) সমান, তবে বলা যাইতে পারে যে পর্দাতে উভয় বাতিই সমান দীপনমাত্রা তৈরী করিয়াছে। বাতিদ্বয়ের দীপনশক্তি L_1 এবং L_2 এবং পর্দা হইতে উহাদের দূরত্ব যথাক্রমে r_1 ও r_2 হইলে, ফটোমিতির মূলতত্ত্ব হইতে লেখা যায়, $\frac{L_1}{L_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$

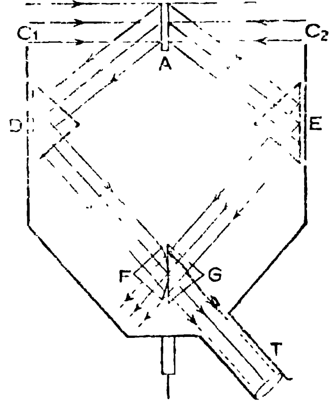


চিত্র 1·14

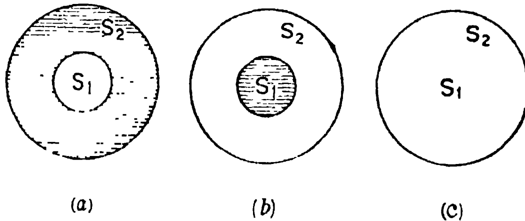
এখন স্কেল দিয়া r_1 এবং r_2 মাপিলে, বাতি দুইটির দীপনশক্তি তুলনা করা যাইতে পারে। তাছাড়া একটি বাতির দীপনশক্তি জানা থাকিলে অন্য বাতির দীপনশক্তি নির্ণয় করা যাইবে।

(খ) **লুমার-ব্রডহান ফটোমিটার** (Lummer-Brodhun photometer) : এই ফটোমিটারের নকশা 1·15নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। এই যন্ত্রে C_1 এবং C_2 দুইটি আলোক-উৎস হইতে আলোকরশ্মি একটি সাদা পর্দা A-র উপর আসিয়া পড়ে। এই আলোক উৎসদ্বয়ের

দীপনশক্তি তুলনা করিতে হইবে। পর্দাটি সাদা এবং একটু অমসৃণ হওয়ায় উহা আলোকরশ্মিকে চতুর্দিকে বিক্ষিপ্ত (diffuse) করিয়া দিবে। আলোক উৎসদ্বয়কে একটি আলোকীয় বেঞ্চে রাখা হয় এবং সরলরেখা বরাবর পরস্পরের দিকে অথবা পরস্পর হইতে দূরে সরানো যায়। D এবং E দুইটি পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম। A পর্দা দ্বারা বিক্ষিপ্ত আলোকরশ্মি ঐ প্রিজম দুইটি দ্বারা পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া উভয় দিক হইতে দুইটি সমকোণী সমদ্বিবাহু প্রিজম সমন্বয় (F এবং G)-এর উপর আসিয়া পড়ে। ঐ প্রিজমদ্বয়ের আকার এরূপ করা হয় যে উহারা পরস্পরের অতিভুজ বাহুর (hypotenuse arm) মাঝামাঝি গোলাকার খানিকটা জায়গায় স্পর্শ করিয়া থাকে কিন্তু অন্যান্য অংশে একটি পাতলা বায়ুস্তর উভয়কে পৃথক করিয়া রাখে। ঐ প্রিজম সমন্বয়ের মাঝামাঝি অঞ্চলে C_1 উৎস হইতে আগত আলোকরশ্মি চলিয়া গিয়া T দূরবীক্ষণ যন্ত্রে সরাসরি প্রবেশ করে, আবার C_2 উৎস হইতে আগত আলোকরশ্মি ঐ সমন্বয়ের বাহিরের দিকে (অর্থাৎ যেখানে বায়ুস্তর উভয়কে তফাৎ করিয়া রাখে) আপতিত হইলে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া T দূরবীক্ষণ যন্ত্রে প্রবেশ করে। চিত্রে টানা লাইন এবং কাটা কাটা লাইন দ্বারা ঐ দুই প্রকার রশ্মি দেখানো হইয়াছে। দূরবীক্ষণ যন্ত্র দিয়া দেখিলে সমগ্র দৃষ্টি ক্ষেত্র (field of view) দুইটি সমকেন্দ্রীক গোলাকার অংশে বিভক্ত দেখা যাইবে। উহার ভিতরের অংশটি (S_1) C_1 উৎস



চিত্র 1·15



চিত্র 1·16

দ্বারা আলোকিত হইবে এবং বাহিরের অংশটি (S_2) C_2 উৎস দ্বারা আলোকিত হইবে। যদি C_1 উৎস বেশী দীপনমাত্রা সৃষ্টি করে তবে ভিতরের অংশটি বেশী উজ্জ্বল দেখাইবে, আর C_2 উৎস বেশী দীপনমাত্রা সৃষ্টি করিলে বাহিরের অংশ বেশী উজ্জ্বল দেখাইবে [চিত্র 1·16 (a) এবং (b)]। পর্দা A হইতে উৎসদ্বয়ের দূরত্ব এমন করিতে হইবে যে সমগ্র দৃষ্টিক্ষেত্র সমভাবে উজ্জ্বল দেখায়। তখন S_1 এবং S_2 অঞ্চল দুইটিকে আলাদা করিয়া চেনা যাইবে না [চিত্র 1·16(c)]। এই অবস্থায়

বলা যায় যে, পর্দায় উৎস দুইটি সমান দীপনমাত্রা সৃষ্টি করিল। উৎসদ্বয়ের দীপনশক্তি L_1 এবং L_2 এবং পর্দা হইতে উহাদের দূরত্ব যথাক্রমে r_1 এবং r_2 হইলে, ফটোমিতির মূল সূত্রানুযায়ী লেখা যায়, $\frac{L_1}{L_2}=\frac{r_1^2}{r_2^2}$

সূক্ষ্ম পরিমাপের জন্য C_1 এবং C_2 উৎসদ্বয়ের অবস্থান বিনিময় করিয়া পুনরায় পরীক্ষা করিতে হয়। আধুনিক যন্ত্রে সমগ্র ব্যবস্থাকে A রেখাকে অক্ষ করিয়া ঘুরাইয়া দিবার ব্যবস্থা থাকে। ফলে, সমগ্র যন্ত্রকে 180° ঘুরাইলে বাতিদ্বয়ের অবস্থানের বিনিময় হইবে।

Examples : (1) দুইটি বাতি রামফোর্ড ফটোমিটারের পর্দা হইতে 60cm এবং 40cm দূরে থাকিয়া পরস্পরের সমান দীপনমাত্রা সৃষ্টি করে। অতঃপর বেশী শক্তির বাতিটিকে একটি ঢাকনা দিয়া ঢাকিয়া দেওয়া হইল যাহাতে উহা 80% আলো প্রদান করে। দীপনমাত্রা সমান করিতে গেলে উহাকে কতখানি সরাইতে হইবে?

উ। ধরা যাউক, বাতি দুইটির দীপনশক্তি যথাক্রমে L_1 এবং L_2; L_1 হইবে L_2 অপেক্ষা বেশী শক্তিশালী কারণ পর্দা হইতে উহার দূরত্ব বেশী।

প্রথম অবস্থায়, $\frac{L_1}{L_2}=\left(\frac{60}{42}\right)^2=\left(\frac{10}{7}\right)^2$

এখন, শক্তিশালী বাতিটি ঢাকিয়া দিলে উহার বর্তমান দীপনশক্তি হইবে $\frac{4}{5}L_1$, কারণ উহা এখন 80% আলো দিতেছে। ধরা যাউক, সমান দীপনমাত্রার জন্য উহার বর্তমান দূরত্ব x cm;

কাজেই $\frac{\frac{4}{5}L_1}{L_2}=\left(\frac{x}{42}\right)^2$ or $\frac{4}{5}\left(\frac{10}{7}\right)^2=\left(\frac{x}{42}\right)^2$

বর্গমূল লইলে $\frac{2}{2\cdot24}\times\frac{10}{7}=\frac{x}{42}$ অথবা, $x=53\cdot57$ cm.

সুতরাং বাতিটিকে $(60-53\cdot57)=$ <u>6·43 cm.</u> পর্দার দিকে সরাইতে হইবে।

(2) 20 c.p. বাতি হইতে 1ft. দূরে একখানি ফটো লইতে নির্ভুল উদ্‌ঘাটন-সময় (exposure) হইতেছে 10 second; 16 c.p. বাতি 2 ft. দূরে রাখিয়া ঐ ফটো লইতে তুমি কত উদ্‌ঘাটন-সময় অনুমোদন করিবে?

উ। প্রথম অবস্থায় দীপনমাত্রা, $I_1=\frac{20}{(1)^2}=$ 20ft.-candles

কাজেই নির্ভুল উদ্‌ঘাটনে মোট যে-পরিমাণ আলো প্রয়োজন তাহা$=20\times10$ units.

দ্বিতীয় অবস্থায় দীপনমাত্রা $I_2=\frac{16}{(2)^2}=4$ ft.-candles.

যদি নির্ণেয় সময় t হয়, তবে নির্ভুল উদ্‌ঘাটনে মোট যে-পরিমাণ আলো প্রয়োজন তাহা $4\times t$ units. যেহেতু একই ফটো লওয়া হইতেছে, সেই হেতু মোট আলোর পরিমাণ দুই ক্ষেত্রেই সমান হইবে। অর্থাৎ $4\times t=20\times10$ অথবা, $t=50$ sec.

Exercises

1. উপযুক্ত উদাহরণ এবং পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও যে আলো সরলরেখায় চলাচল করে।

2. সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার বর্ণনা ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। ঐ ক্যামেরা সম্পর্কে নিম্নলিখিত প্রশ্নের উত্তর লেখ ঃ—(ক) ছিদ্রের আকার বড় করিলে কি হয়? (খ) ছিদ্র হইতে ঘষা-কাচের দূরত্ব বৃদ্ধি করিলে কি হয়? (গ) ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব বৃদ্ধি করিলে কি হয়? (ঘ) ছিদ্রের আকৃতি পরিবর্তন করিলে কি হয়?

3. ঘরের একটি জানলার ক্ষুদ্র ত্রিভুজাকৃতি ছিদ্র দিয়া অনুভূমিকভাবে সূর্যালোক প্রবেশ করিয়া বিপরীত দেওয়ালে পড়িল। দেওয়ালে গোলাকৃতি আলোকচক্র দেখা যায় কেন তাহা ব্যাখ্যা কর।

4. 10 ফুট × 10 ফুট একটি অন্ধকার ঘরের সাদা দেওয়ালের মধ্যস্থলে একটি ক্ষুদ্র ছিদ্র আছে। ছিদ্র হইতে বাহিরে এবং কিছু দূরে 55 ফুট উচু একটি গাছ আছে। ছিদ্রের বিপরীত দিকের দেয়ালে গাছের 11 ইঞ্চি উঁচু একটি প্রতিকৃতি দেখিতে পাওয়া গেল। ছিদ্র হইতে গাছের দূরত্ব কত? [Ans. 600 ফুট]

5. একটি সূচী ছিদ্র ক্যামেরার ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব 8 ইঞ্চি এবং পর্দার উচ্চতা 6 ইঞ্চি। 200 ফুট উঁচু একটি গাছের পূর্ণ প্রতিকৃতি পর্দায় গঠন করিতে হইলে গাছ হইতে ক্যামেরা কতদূরে রাখিতে হইবে? [Ans. 266·6 ফুট]

6. একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার ছিদ্র হইতে 15 সে.মি. দূরে একটি মোমবাতি আছে। বাতির শিখা 2 সে. মি. দীর্ঘ। ক্যামেরার পর্দাটি ছিদ্র হইতে 25 সে. মি. দূরে স্থাপিত হইলে প্রতিকৃতির সাইজ কত হইবে? [Ans. 3·33 সে. মি.]

7. 10 ফুট চওড়া একটি ঘরের কোন জানলায় একটি ক্ষুদ্র ফুটা আছে। ঘরের বাহিরে একটি গাছের প্রতিকৃতি বিপরীত দেওয়ালে গঠিত হইল। প্রতিকৃতির উচ্চতা 4 ফুট এবং জানালা হইতে গাছের দূরত্ব 30 ফুট হইলে গাছের উচ্চতা কত? [Ans. 12 ফুট]

8. একটি সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার সাহায্যে সূর্যের ছবি তোলা হইল। ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব 100 সে. মি. হইলে এবং সূর্য ছিদ্রে $(\frac{1}{2})^\circ$ কোণ উৎপন্ন করিলে পর্দার যে প্রতিকৃতি উৎপন্ন হইবে তাহার ব্যাস নির্ণয় কর। ছিদ্রের জায়গায় 100 সে.মি. ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্স রাখিলে প্রতিকৃতির কি পরিবর্তন হইবে? [Ans. 8·72 মি. মি. ; উজ্জ্বলতর প্রতিবিম্ব]

9. ছায়ার সৃষ্টি কিরূপে হয়? একটি বিস্তৃত আলোকপ্রভব হইতে আলোকরশ্মি নির্গত হইয়া একটি বিস্তৃত অস্বচ্ছ বস্তু দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হইলে কিরূপে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার সৃষ্টি হয় তাহা নক্শা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

10. প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার ভিতর পার্থক্য কি? পাখী যখন নীচু দিয়া উড়ে তখন উহার ছায়া মাটিতে পড়ে কিন্তু উপরে উঠিলে আর ছায়া দেখা যায় না। কেন?

11. ছায়া গঠিত হইবার মূল নীতি বর্ণনা কর। গোলীয় প্রতিবন্ধকের দরুন পরপৃষ্ঠায়লিখিত উৎসের দ্বারা গঠিত প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়ার অংশ পরিষ্কার ছবি আঁকিয়া দেখাও ঃ—

(i) বিন্দু আলোক উৎস, (ii) উজ্জ্বল গোলক কিন্তু আকারে প্রতিবন্ধক অপেক্ষা ক্ষুদ্র, (iii) উজ্জ্বল গোলক কিন্তু আকারে প্রতিবন্ধক অপেক্ষা বৃহৎ। কোন বর্ণনার প্রয়োজন নাই।

[H. S. (Comp) 1960, '63]

12. পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে নিম্নতম কত উচ্চতায় একটি পাখী উড়িয়া গেলে সূর্য কর্তৃক সমতল পৃথিবীপৃষ্ঠে সৃষ্ট পাখীর ছায়া প্রচ্ছায়াবিহীন হইবে। পাখীর ডানা 2 ফুট বিস্তৃত। সূর্যের ব্যাস 9×10^5 মাইল এবং পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব 9×10^7 মাইল।

[H. S. Exam. 1967] [Ans. 200 ফুট]

13. 8 ইঞ্চি ব্যাসযুক্ত একটি ধাতব বল হইতে 2 ফুট দূরে একটি গোলাকার আলোক উৎস রাখা আছে। আলোক-উৎসের ব্যাস 6 ইঞ্চি, ধাতব বলের 1 ফুট পশ্চাতে একটি পর্দা রাখিলে ঐ পর্দায় যে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার সৃষ্টি হইবে তাহাদের ব্যাস নির্ণয় কর।

[Ans. 9 ইঞ্চি ; 15 ইঞ্চি]

14. সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণ বুঝাইবার জন্য দুইখানি পরিষ্কার ছবি আঁক (কোন ব্যাখ্যার প্রয়োজন নাই।)

তোমার আঁকা সূর্যগ্রহণের ছবি হইতে বল (i) পৃথিবীর আলোকিত গোলার্ধের সব জায়গা হইতে গ্রহণ দেখা যায় না কেন? একস্থানে সূর্যের পূর্ণগ্রহণ এবং অন্য স্থানে খণ্ড গ্রহণ দেখা যায় কেন? প্রত্যেক অমাবস্যা এবং পূর্ণিমাতে গ্রহণ হয় না কেন? *[H.S. Exam. 1963]*

15. বলয় গ্রহণ কি? ইহা সূর্যের হয় না চন্দ্রের হয়? ইহা কিরূপে হয়? প্রত্যেক অমাবস্যা এবং পূর্ণিমাতে গ্রহণ হয় না কেন? পূর্ণ সূর্যগ্রহণের সময় চাঁদকে তামাটে বর্ণের থালার মত দেখায় কেন?

16. চন্দ্রগ্রহণ সম্পর্কে নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও ঃ—

(ক) কখন চন্দ্রের পূর্ণ গ্রহণ হয়?

(খ) কখন চন্দ্রের খণ্ড গ্রহণ হয়?

(গ) গ্রহণ আরম্ভ হইবার পূর্বে এবং শেষ হইবার পরে কিছুক্ষণের জন্য চাঁদকে ম্লান দেখায় কেন?

(ঘ) সকল পূর্ণিমাতে চন্দ্রগ্রহণ দেখা যায় না কেন?

(ঙ) চন্দ্রের বলয় গ্রহণ হয় না কেন? *[H. S. (Comp) 1966]*

17. সূর্যের ব্যাস 9×10^5 মাইল, পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব 9×10^7 মাইল এবং চন্দ্রের ব্যাস 2100 মাইল। পৃথিবীর উপরিস্থ কোন বিন্দু হইতে পূর্ণ সূর্যগ্রহণ দেখা গেলে পৃথিবী হইতে চন্দ্রের তখনকার দূরত্ব নির্ণয় কর। *[H. S. Exam. 1969]* [Ans. 21×10^4 মাইল]

18 সূর্যের ব্যাস 9×10^5 মাইল, সূর্য এবং পৃথিবীর দূরত্ব 9×10^7 মাইল, চাঁদের ব্যাস 2100 মাইল এবং পৃথিবী হইতে চাঁদের দূরত্ব 2,09,000 মাইল। পৃথিবীর যে-অঞ্চলে সূর্যের পূর্ণগ্রহণ হইবে তাহার ব্যাস ও ক্ষেত্রফল নির্ণয় কর। [Ans. 10 মাইল ; 78·5 বর্গ মাইল]

19. 'দীপন শক্তি' ও দীপনমাত্রা'র সংজ্ঞা লেখ। কোন বাতির 'ক্যাণ্ডেল পাওয়ার' বলিতে

কি বোঝ? নিম্নলিখিত রাশিগুলির ব্যাখ্যা কর:—(i) লুমেন (ii) ফট (iii) লাক্স (iv) ক্যাণ্ডেলা।

20. দীপনশক্তি ও দীপনমাত্রার ভিতর পার্থক্য কি? ফটোমিটারে সাহায্যে কোন্‌টি নির্ণয় করা হয়? যেকোন একটি ফটোমিটারের ব্যবহার বর্ণনা কর।

21. দীপনমাত্রা সম্পর্কিত ব্যস্তবর্গের সূত্র কাহাকে বলে? ঐ সূত্র প্রতিষ্ঠা কর। ফটোমিতির মূলসূত্র কি? লুমার-ব্রডহান ফটোমিটার বর্ণনা কর ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

22. দুইটি উৎস পরস্পর হইতে 12 ft. দূরে আছে। উহাদের দীপন শক্তির অনুপাত 16:25. উহারা যে-রেখায় অবস্থিত সেই রেখার কোথায় দীপনমাত্রা সমান হইবে?

[Ans. কম শক্তিশালী উৎস হইতে 5·3ft. দূরে]

23. 16.c.p. বাতি হইতে 2ft. দূরে ফটো লইতে গিয়া 15sec উদ্‌ঘাটন-সময় সন্তোষজনক ফল দিল। 32c.p. বাতি হইতে কত দূরে ঐ ফটো রাখিলে 20 sec. উদঘাটন সময় সন্তোষজনক ফল দিবে? [Ans. 3.23ft.]

24. একটি বাতি হইতে 4 ft. দূরে 6 ft-candle দীপনমাত্রা প্রয়োজন। বাতিটির ক্যাণ্ডেল-পাওয়ার কত হইবে? [Ans. 96 c.p]

25. একটি প্রমাণ বাতি এবং একটি গ্যাস-দীপ পরস্পর হইতে 6ft দূরে রাখা আছে। গ্যাস-দীপটির দীপনশক্তি 4 ক্যাণ্ডেল-পাওয়ার। উহাদের যুক্ত করিয়া যে সরল রেখা পাওয়া যায় সেই সরল-রেখার কোথায় একটি পর্দা রাখিলে পর্দাটি সমভাবে উজ্জ্বল হইবে?

[Ans. প্রমাণ দীপ হইতে 2ft]

26. 32 এবং 16c.p. দীপনশক্তির দুইটি বাতিকে পরস্পর হইতে 1metre দূরে রাখা আছে। বাতি দুইটির সংযোগ রেখার কোথায় একটি পর্দা রাখিলে, পর্দায় সমান ঔজ্জ্বল্য সৃষ্টি হইবে? [Ans. দ্বিতীয় বাতি হইতে 244cm. দূরে]

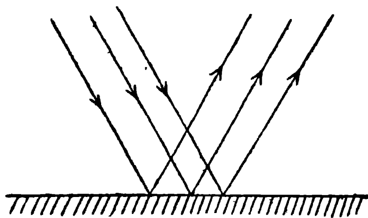
দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

সমতলে ও বক্রতলে আলোকের প্রতিফলন

(Reflection of light at plane and curved surfaces)

2·1. **আলোকের প্রতিফলন** (Reflection of light)ঃ আমরা জানি, কোন সমসত্ব মাধ্যমে আলোক সরলরেখায় গমন করে। কিন্তু আলো যখন এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হয় তখন ঐ আলোর কিয়দংশ দ্বিতীয় মাধ্যমের তল (surface) হইতে পুনরায় সরলরেখায় প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। এই ঘটনাকে আলোর **প্রতিফলন** বলে। আপতিত আলোর কত অংশ প্রতিফলিত হইবে তাহা দুইটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে। প্রথমত আপতিত আলো প্রতিফলকের উপর কত কোণে আপতিত হইল এবং দ্বিতীয়ত কোন্ মাধ্যম হইতে আসিয়া কোন্ মাধ্যম কর্তৃক প্রতিফলিত হইল। দেখা গিয়াছে বায়ু হইতে সরাসরি অভিলম্ব ভাবে আলো কাচে পড়িলে প্রায় 4.5% আলো প্রতিফলিত হয়। আলোকরশ্মি প্রতিফলক তলে যত কাত হইয়া পড়িবে তত বেশী পরিমাণ আলো প্রতিফলিত হইবে। বায়ু হইতে আসিয়া সমতল দর্পণে অভিলম্ব ভাবে আলো পড়িলে প্রায় 80% আলো প্রতিফলিত হয়। দর্পণ দ্বারা আলোর প্রতিফলন তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। আমাদের দৈনন্দিন অভিজ্ঞতায় আলোর প্রতিফলন সর্বদাই দেখিতে পাই।

2.2. **নিয়মিত প্রতিফলন** (Regular reflection)ঃ যদি প্রতিফলকের তল মসৃণ হয় তবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি একটি নির্দিষ্ট দিকে যাইবে এবং আপতিত রশ্মিগুচ্ছের সহিত প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছের মিল থাকিবে। 2·1 নং চিত্রে একটি মসৃণ তলে একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি আপতিত হইয়াছে। উহাদের প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছও সমান্তরাল। এই ধরনের প্রতিফলনকে নিয়মিত প্রতিফলন বলে।

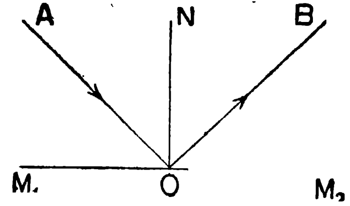


চিত্র 2·1

2·2 নং চিত্রে একটি রশ্মি লইয়া নিয়মিত প্রতিফলন দেখান হইয়াছে। এখানে AO রশ্মি M_1M_2 প্রতিফলক দ্বারা OB রশ্মিতে প্রতিফলিত হইয়াছে। এখানে AO রশ্মিকে **আপতিত** (incident) **রশ্মি** বলা হয় এবং OB-কে বলা হয় **প্রতিফলিত** (reflected) **রশ্মি**। যে-বিন্দুতে আপতিত রশ্মি প্রতিফলকের উপর পড়ে (অর্থাৎ O বিন্দু) তাহাকে

বলা হয় **আপতন বিন্দু** (point of incidence)। আপতন বিন্দু দিয়া প্রতিফলকের উপর যদি লম্ব টানা যায় (ছবিতে ON), তবে উহাকে **অভিলম্ব** (normal) বলা হয়।

আপতিত রশ্মি অভিলম্বের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (অর্থাৎ ∠AON) উহাকে **আপতন কোণ** (angle of incidence) এবং প্রতিফলিত রশ্মি অভিলম্বের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (অর্থাৎ ∠BON) উহাকে **প্রতিফলন কোণ** (angle of reflection) বলে।



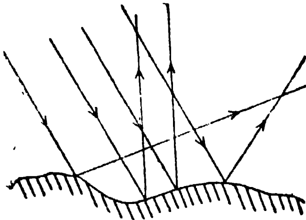
চিত্র 2·2

2·3 **প্রতিফলনের সূত্র** (Laws of reflection) প্রতিফলন নিম্নলিখিত দুইটি সূত্রানুযায়ী হইয়া থাকে ঃ

(1) **আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও আপতন বিন্দু দিয়া প্রতিফলকের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।**

(2) **আপতন কোন সর্বদা প্রতিফলন কোণের সমান হইবে** অর্থাৎ ∠AON = ∠BON (চিত্র নং 2·2)।

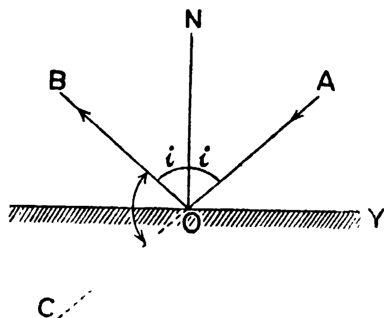
2·4 **বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন** (Diffuse reflection) : যদি প্রতিফলকের তল অমসৃণ হয়, তবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে এবং আপতিত রশ্মিগুচ্ছের সহিত প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছের কোন মিল থাকে না। 2·3 নং চিত্রে একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি একটি অমসৃণ তলে আপতিত হইয়াছে। প্রত্যেকটি আলাদা রশ্মির নিয়মিত প্রতিফলন হইবে কিন্তু যেহেতু তল অমসৃণ সেই হেতু তলের বিভিন্ন বিন্দুতে অভিলম্ব বিভিন্ন দিকে হইবে। সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চারিদিকে বিক্ষিপ্ত হইবে ও আপতিত রশ্মির সহিত কোন মিল থাকিবে না। ইহাকে **বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন** বলে।


চিত্র 2·3

ঘষা কাচ, সাদা কাগজ, ঘরের দেওয়াল, সিনেমার পর্দা ইত্যাদি অমসৃণ বলিয়া বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের সৃষ্টি করে। ইহার ফলে এই বস্তুগুলিকে যেদিক হইতেই দেখা যাক না কেন, সর্বত্র সমান উজ্জ্বল দেখাইবে। কিন্তু সমতল দর্পণ নিয়মিত প্রতিফলন সৃষ্টি করে বলিয়া দর্পণের যে-অংশ প্রতিফলনে অংশ গ্রহণ করে সেই অংশই চক্‌চকে দেখায়।

2·5 **প্রতিফলনের ফলে রশ্মির চ্যুতি** (Deviation of a ray due to reflection) ঃ আলোকরশ্মি কোন প্রতিফলক দ্বারা প্রতিফলিত হইলে আপন পথ হইতে চ্যুত হয়। মনে কর, AO একটি আলোক-রশ্মি কোন প্রতিফলকের উপর O বিন্দুতে

আপতিত হইল। আপতন কোণ $\angle AON = i$. রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া OB পথে গেলে [2·3. (*a*) নং চিত্র] প্রতিফলন কোণ $\angle BON = i$ (প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী)।



চিত্র 2·3(*a*)

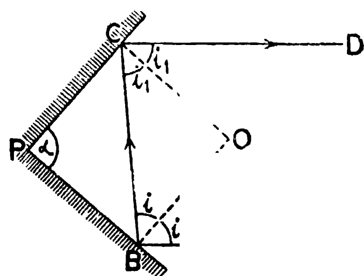
এখন, প্রতিফলক না থাকিলে AO রশ্মি সোজা AOC পথে চলিয়া যাইত। প্রতিফলনের দরুন ঘুরিয়া OB পথে গিয়াছে—অর্থাৎ রশ্মির চ্যুতি হইয়াছে। এস্থলে $\angle BOC$ রশ্মির চ্যুতি-কোণের (angle of deviation) পরিমাপ করে। চিত্র হইতে বোঝা যায় যে

$\angle BOC = 180° - \angle BOA = 180° - 2i.$

এখন মনে কর, দুইটি প্রতিফলক PB এবং PC পরস্পরের সহিত α কোণে আনত আছে [2.3 (*b*) নং চিত্র] এবং একটি রশ্মি AB প্রথম প্রতিফলকে B বিন্দুতে প্রতিফলিত হইয়া BC পথে দ্বিতীয় প্রতিফলকে আপতিত হইল এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া CD পথে নির্গত হইল। এক্ষেত্রে মোট চ্যুতি কত হইবে?

মনে কর, B বিন্দুতে আপতন ও প্রতিফলন কোণ $= i$ এবং C বিন্দুতে আপতন ও প্রতিফলন কোণ $= i_1$ এখন, পূর্বের আলোচনা হইতে আমরা লিখিতে পারি, B-বিন্দুতে প্রতিফলনের দরুন চ্যুতি $= 180° - 2i$ এবং C বিন্দুতে প্রতিফলনের দরুন চ্যুতি $= 180° - 2i_1$

সুতরাং মোট চ্যুতি $= 180° - 2i + 180° - 2i_1 = 360° - 2(i + i_1)$



চিত্র 2·3(*b*)

এখন CBO ত্রিভুজের কথা বিবেচনা করিলে, $i + i_1 = 180° - \angle BOC$

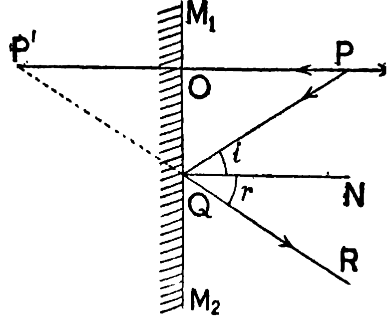
আবার PCOB চতুর্ভুজের „ „ „ $\alpha = 180° - \angle BOC$

[কারণ, $\angle PCO$ এবং $\angle PBO$ উভয়েই 90°]

$\therefore \alpha = i + i_1$; কাজেই রশ্মির দুইবার প্রতিফলনে মোট চ্যুতি $= 360° - 2\alpha$.

যদি প্রতিফলক দুইটি সমকোণে থাকে তবে $\alpha = 90°$, সেক্ষেত্রে মোট চ্যুতি $= 360° - 2 \times 90° = 180°$ অর্থাৎ, রশ্মির আগমন এবং নির্গমন পথ সমান্তরাল থাকিবে কিন্তু উহারা বিপরীতমুখী হইবে।

2·6 **সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব ঃ** M_1M_2 একটি সমতল দর্পণ ও P উহার সম্মুখে অবস্থিত একটি বস্তুবিন্দু। P হইতে PO রশ্মি দর্পণে অভিলম্বরূপে আপতিত হইয়া পুনরায় OP পথে অভিলম্বভাবে প্রতিফলিত হইয়া প্রত্যাবর্তন করিল। আর একটি রশ্মি PQ প্রতিফলিত হইয়া QR পথে গমন করিল। সুতরাং $\angle PQN = \angle RQN$ (2·4 নং চিত্র]। OP ও QR এই দুইটি প্রতিফলিত রশ্মি পিছনে বর্ধিত করিলে P′ বিন্দুতে মেশে। অর্থাৎ, মনে হয় প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয় P′ বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং P′ বিন্দু P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব।



চিত্র 2·4

এখন, $\angle PQN = \angle OPQ$ (যেহেতু QN ও OP সমান্তরাল) আবার একই কারণে $\angle NQR = OP'Q$

সুতরাং $\angle OPQ = \angle OP'Q$ [কারণ, $\angle PQN = \angle NQR$]

এবার, Δ^s QPO ও QOP′ লও। ইহাদের মধ্যে

$\angle OPQ = \angle OP'Q$

$\angle QOP = \angle QOP'$ (∵ উভয়েই 90°)

এবং QO দুই ত্রিভুজেরই বাহু।

∴ ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম। সুতরাং, $OP = OP'$

অর্থাৎ, লক্ষ্যবস্তু-P দর্পণের যতটা সম্মুখে প্রতিবিম্ব-P′ দর্পণ হইতে ততটা পিছনে এবং PP সরলরেখা দর্পণকে লম্বভাবে ছেদ করে।

অতএব সমতল দর্পণ যে-প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে তাহার নিম্নলিখিত ধর্ম বর্তমান ঃ

(1) **দর্পণ হইতে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব** (object distance)=**দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব** (image distance)।

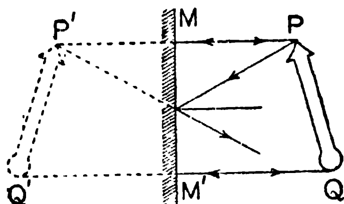
(2) **প্রতিবিম্ব ও লক্ষ্যবস্তু সরলরেখা দ্বারা সংযুক্ত করিলে তাহা দর্পণকে লম্বভাবে ছেদ করে।**

(3) **প্রতিবিম্ব অসদ্।**

(4) **লক্ষ্যবস্তুর সাইজ=প্রাতবিম্বের সাইজ।**

2·7 **বিস্তৃত লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব** (Image of an extended object, MM′ দর্পণের সম্মুখে PQ একটি বিস্তৃত লক্ষ্যবস্তু (2·5 নং চিত্র)। **বিস্তৃত বস্তুকে অসংখ্য বিন্দুপ্রভবের সমষ্টি ধরা যাইতে পারে।** সুতরাং বিস্তৃত লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব নির্ণয় করিতে হইলে প্রত্যেক বিন্দুপ্রভবের প্রতিবিম্ব নির্ণয় করিয়া উহাদের সমষ্টি নির্ণয় করিলে পূর্ণপ্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে।

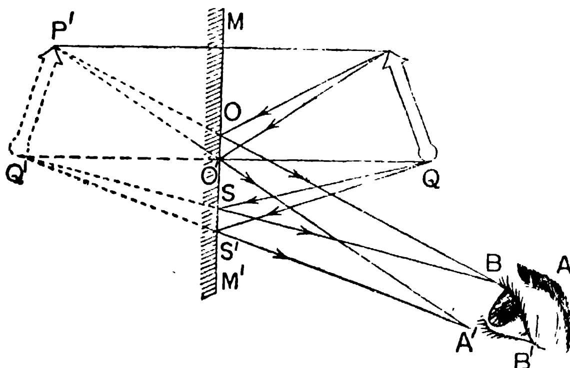
PQ লক্ষ্যবস্তুর P বিন্দু হইতে দর্পণের উপর লম্ব টানিয়া উহাকে পিছনের দিকে সমান দূরে P′ বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত করিলে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে। তেমনি সর্বনিম্ন বিন্দু Q হইতে MM′ রেখার উপর লম্ব টানিয়া সমদূরে Q′ পর্যন্ত প্রসারিত করিলে Q বিন্দুর প্রতিবিম্ব মিলিবে। P এবং Q-এর মধ্যবর্তী বিন্দু প্রভবের প্রতিবিম্ব P′ এবং Q′-এর মধ্যে থাকিবে। সুতরাং P′Q′ হইল PQ বিস্তৃত লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব (2.5 নং চিত্র)।



চিত্র 2·5

আলোকরশ্মির প্রতিফলনের দ্বারা উক্ত PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব দর্শক কিরূপে দেখিবে তাহা 2.6 নং চিত্রে দেখানো হইল।

P বিন্দু হইতে PO এবং PO′ রশ্মিগুচ্ছ দর্পণ দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া চোখে এমনভাবে পৌঁছায় যে মনে হয় P বিন্দু P′ বিন্দুতে অবস্থান করিতেছে অর্থাৎ P′ বিন্দু হইতেছে P বিন্দর অসদ্বিম্ব। তেমনি সর্বনিম্ন Q বিন্দু হইতে QS ও QS′ রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত হইবার পর



চিত্র 2·6

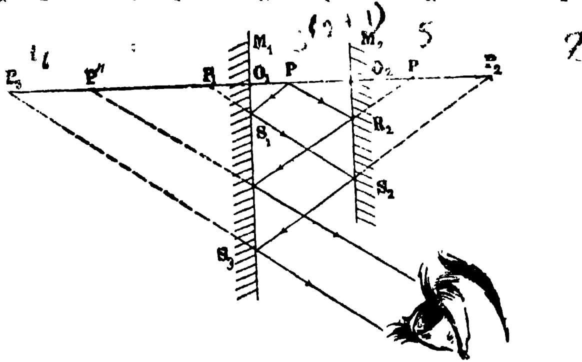
মনে হইবে রশ্মিগুচ্ছ Q′ বিন্দু হইতে আসিতেছে; সুতরাং চোখ Q বিন্দুর অসদ্বিম্ব Q′ বিন্দুতে দেখিবে। এইভাবে PQ লক্ষ্যবস্তুর প্রত্যেক বিন্দু হইতে রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইবে এবং পূর্ণ প্রতিবিম্ব P′Q′ সৃষ্টি করিবে।

উপরোক্ত ক্ষেত্রে একটি বিষয় লক্ষ্য করিবার আছে। PQ লক্ষ্যবস্তু ও চোখের অবস্থানের উপর নির্ভর করিয়া দর্পণের যে অংশ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিতে কার্যকর হইয়াছে তাহা O হইতে S পর্যন্ত। সুতরাং উক্ত দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণ হইলেই প্রতিবিম্ব দেখা চলিবে। অবশ্য, চোখ বা লক্ষ্য-বস্তু সরাইয়া লইলে দর্পণের কার্যকর অংশেরও পরিবর্তন হইবে।

2.8 দুই সমতল দর্পণে পর পর প্রতিফলন (Multiple reflections at two plane mirrors) ঃ

(ক) **দুইটি সমান্তরাল দর্পণ** (Two parallel mirrors) : দুইটি দর্পণকে সমান্তরাল রাখিয়া ইহাদের মধ্যবর্তী স্থানে দাঁড়াইয়া যে-কোন একটি দর্পণের দিকে তাকাইলে মুখের অসংখ্য প্রতিবিম্ব দেখা যায়, তাহা বোধ হয় তোমরা লক্ষ্য করিয়া থাকিবে। কিরূপে এই অসংখ্য প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয় নিম্নে তাহা বুঝান হইল।

M_1 এবং M_2 দুইটি সমান্তরালভাবে রক্ষিত সমতল দর্পণ এবং P উহাদের মধ্যবর্তী স্থানে একটি আলোক-বিন্দু। P বিন্দু হইতে M_1M_2 দর্পণদ্বয়ের উপর লম্ব টানা হইল এবং উহাকে দুই পাশে বর্ধিত করা হইল। এই লম্ব M_1 ও M_2 দর্পণকে যথাক্রমে O_1 এবং O_2 বিন্দুতে ছেদ করিল (2.7 নং চিত্র)। প্রথমে M_1 দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলন আলোচনা করা যাউক। উক্ত লম্বের উপর P_1 এমন একটি বিন্দু লও যাহাতে $O_1P_1=O_1P$. এখন P বিন্দু হইতে আলোকগুচ্ছ M_1 কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া মনে হইবে যেন P_1 বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে। অতএব P_1 বিন্দু M_1 দর্পণ কর্তৃক সৃষ্ট P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। কিছু রশ্মি যেমন S_1S_2, দ্বিতীয়



চিত্র 2·7

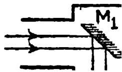
দর্পণ M_2 কর্তৃক পুনরায় প্রতিফলিত হইবে এবং যদি P_2 এমন বিন্দু লওয়া হয় যাহাতে $O_2P_1=O_2P_2$ তবে মনে হইবে যেন ইহারা P_2 বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে, অর্থাৎ M_2 দর্পণ P_1 বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব P_2 বিন্দুতে সৃষ্টি করিবে। যেহেতু P_2 বিন্দু আবার M_1 দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত সেই হেতু ঠিক একইভাবে M_1 দর্পণ P_2 বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব P_3 বিন্দুতে সৃষ্টি করিবে। এক্ষেত্রে P_3 বিন্দু এমন হইবে যে $O_1P_3=O_1P_2$. এইরূপে ক্রমাগত প্রতিফলনের ফলে P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি প্রতিবিম্বগুলি সৃষ্টি হইবে।

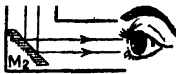
এইবার M_2 দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলন আলোচনা করা যাউক। M_2 দর্পণও M_1 দর্পণের ন্যায় প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিবে। ইহার প্রথম প্রতিবিম্ব P' বিন্দু হইলে $O_2P=O_2P'$, P' বিন্দু এবার M_1 দর্পণের সম্মুখে থাকায় P'' বিন্দুতে ইহার প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হইবে এবং $O_1P'=O_1P''$, ইত্যাদি। এইভাবে P', P'', P''' প্রভৃতি বহু প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হইবে।

সুতরাং অঙ্কের হিসাবে সমান্তরাল দর্পণদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত কোন আলোক-বিন্দুর অসংখ্য (infinite) প্রতিবিম্ব থাকিবে কিন্তু প্রত্যেক প্রতিফলনে দর্পণদ্বয় কিছু আলো শোষণ করে বলিয়া কার্যত কিছু সংখ্যক প্রতিবিম্বের পর ইহা অস্পষ্ট হইয়া পড়ে এবং আর দেখা যায় না।

সমান্তরাল দর্পণদ্বয়ের ব্যবহারিক প্রয়োগ ঃ

সরল পেরিস্কোপ (Simple periscope) ঃ উপরোক্ত সমান্তরাল দর্পণদ্বয়ের নীতি অবলম্বন করিয়া সরল পেরিস্কোপ তৈয়ারী হয়। 2.8 নং চিত্রে উহার একটি নক্‌শা দেখানো হইল। M_1 এবং M_2 দুইটি সমতল দর্পণ সমান্তরালভাবে একটি কাঠের ফ্রেম বা ধাতব নলে আটকানো। দর্পণদ্বয়কে সমান্তরাল রাখিয়া এদিক ওদিক ঘুরাইবার ব্যবস্থা আছে। ফ্রেমকে খাড়া অবস্থায় রাখিয়া নীচের দর্পণের দিকে তাকাইলে বহু দূরের জিনিষ দেখা যাইবে। সাধারণত কোন দূরের জিনিষ সোজাসুজি দেখিতে বাধা থাকিলে এই যন্ত্রের সাহায্যে তাহা দেখা যায়। দূরাগত আলোকরশ্মি M_1 দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া নলের অক্ষ (axis) বরাবর আসিয়া M_2 দর্পণে পড়িবে এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া অনুভূমিকভাবে মানুষের চোখে পৌঁছাইবে। সুতরাং দূরের জিনিষ সোজাসুজি না দেখিতে পাইলেও এইভাবে দেখা যাইবে।

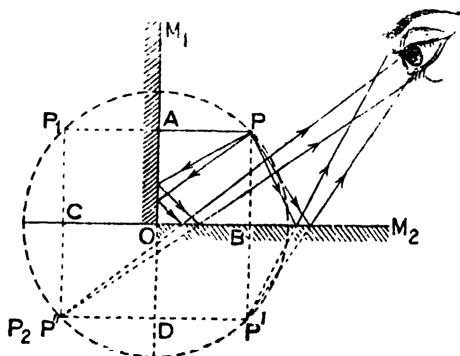




চিত্র 2·8

গড়ের মাঠে বহুলোক এই ধরণের পেরিস্কোপ লইয়া ভীড়ের উপর দিয়া খেলা দেখে। যুদ্ধের সময় পরিখার ভিতর লুকাইয়া বিপক্ষ সৈন্যদের কার্যকলাপ, এই পেরিস্কোপের সাহায্যে দেখা যায়। ডুবোজাহাজে ইহা অপেক্ষা উন্নত ধরণের পেরিস্কোপ ব্যবহৃত হয় (প্রিজম্ পেরিস্কোপ দ্রষ্টব্য)।

(খ) সমকোণ আনত দুইটি সমতল দর্পণ (Two plane mirrors at right angles to each other) ঃ M_1 এবং M_2 দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের সহিত লম্বভাবে রক্ষিত অর্থাৎ $\angle M_1OM_2$ একটি সমকোণ। P একটি আলোক-বিন্দু (2·9 নং চিত্র)।



চিত্র 2·9

M_1O দর্পণের উপর PAP_1 লম্ব টানিয়া যদি $P_1A = PA$ করা হয় তবে P_1 হইবে M_1O দর্পণ কর্তৃক P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। আবার P_1 বিন্দু M_2O দর্পণের সম্মুখে পড়াতে উহার একটি প্রতিবিম্ব হইবে।

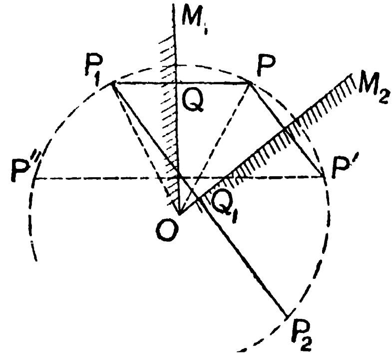
এই প্রতিবিম্বের অবস্থান পাইতে গেলে M_2O রেখা বর্ধিত করিয়া উহার উপর P_1CP_2 লম্ব টন যাহাতে $P_1C=P_2C$ হয়। তাহা হইলে P_2 বিন্দু হইবে P_1 বিন্দুর প্রতিবিম্ব। চোখকে এই প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে আলোকরশ্মির কিরূপ প্রতিফলন হওয়া প্রয়োজন তাহা 2·9 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। এখন P_2 বিন্দু উভয় দর্পণের পিছনে পড়াতে ইহার আর কোন প্রতিবিম্ব হইবে না।

কিন্তু P বিন্দু OM_2 দর্পণের সম্মুখে বলিয়া P′ বিন্দুতে উহার একটি প্রতিবিম্ব হইবে এবং $PB=BP'$; আবার P′ বিন্দু M_1O দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত বলিয়া উহারও একটি বিম্ব সৃষ্টি হইবে। এই বিম্বের অবস্থিতি নির্ণয় করিতে গেলে M_1O রেখা বর্ধিত করিয়া উহার উপর P′D লম্ব টান এবং P′D-এর সমান করিয়া P″ পর্যন্ত উহাকে প্রসারিত কর। P″ হইবে P′ বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এইবার ইহা উভয় দর্পণের পিছনে পড়াতে উহার আর কোন বিম্ব হইবে না। সরল জ্যামিতির দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে P_2 ও P″ বিন্দুদ্বয় একই।

সুতরাং সমকোণে রক্ষিত দর্পণদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত P বিন্দুর তিনটি প্রতিবিম্ব (P_1, P′ এবং P_2 অথবা P″) পাওয়া যাইবে। এই প্রতিবিম্বগুলি মূল বিন্দু P-সহ একটি বৃত্তের উপর অবস্থিত থাকিবে যাহার কেন্দ্র হইবে O বিন্দু এবং ব্যাসার্ধ হইবে OP.

(গ) **যে-কোন কোণে অবস্থিত দুইটি দর্পণ** (Two mirrors inclined at any angle)ঃ M_1 এবং M_2 দুইটি দর্পণ M_1OM_2 কোণে অবস্থিত। P উহাদের মধ্যে অবস্থিত একটি আলোকবিন্দু (2·10 নং চিত্র)।

P বিন্দু হইতে M_1O রেখার উপর PQ লম্ব টান এবং উহাকে P_1 পর্যন্ত বর্ধিত কর যাহাতে $PQ=P_1Q$ হয়। অতএব P_1 হইবে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। আবার P_1 বিন্দু M_2O দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া একটি প্রতিবিম্ব P_2 সৃষ্টি করিবে যদি $P_1Q_1P_2$ রেখা M_2O রেখার উপর লম্ব হয় এবং $P_1Q_1=P_2Q_1$ হয়। এইভাবে যতক্ষণ না প্রতিবিম্ব উভয় দর্পণের পিছনে পড়ে ততক্ষণ বার বার প্রতিফলনের জন্য প্রতিবিম্বরাশি সৃষ্টি হইবে।



চিত্র 2·10

আবার M_2O দর্পণ কর্তৃক P বিন্দুর প্রতিফলন বিবেচনা করিলে উপরোক্তভাবে P′, P″ প্রভৃতি প্রতিবিম্বরাশি সৃষ্টি হইবে।

এইবার, POQ এবং P_1OQ ত্রিভুজ দুইটি লও।

$PQ=P_1Q$ এবং $\angle OQP=\angle OQP_1$ [প্রত্যেক 1 সমকোণ]

QO সাধারণ বাহু।

সুতরাং, ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম। কাজেই $PO=P_1O$

ঠিক একইভাবে প্রমাণ করা যাইতে পারে যে $P_1O=P_2O=P'O=P''O$ ইত্যাদি।

অর্থাৎ, প্রতিবিম্বগুলি মূলবিন্দু P-সহ একটি বৃত্তের উপর অবস্থিত থাকিবে যাহার কেন্দ্র হইল O বিন্দু ও ব্যাসার্ধ হইল OP.

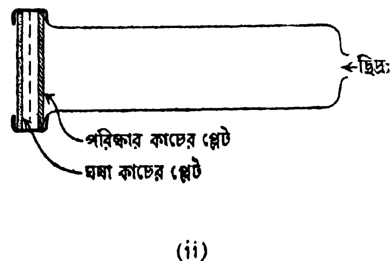
যদি $\angle M_1OM_2=\theta$ হয়, তবে প্রমাণ করা যায় প্রতিবিম্বের সংখ্যা $n=\left(\frac{360}{\theta}-1\right)$;

মনে কর, দর্পণদ্বয় 60° কোণ করিয়া অবস্থান করিতেছে। উহাদের মধ্যে অবস্থিত কোন আলোক-বিন্দুর প্রতিবিম্বের সংখ্যা $n=\left(\frac{360}{60}-1\right)=5.$

কার্যকর প্রয়োগঃ ক্যালিডোস্কোপ (The kaleidoscope)ঃ ইহা ছোট ছেলমেয়েদের একটি খেলনা। যে-কোন কোণে অবস্থিত দুইটি দর্পণ যেভাবে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে সেই নীতিকে এই যন্ত্রে প্রয়োগ করা হইয়াছে।

একটি নলের ভিতর তিনখানি সমতল দর্পণের পাত পরস্পরের সহিত 60° কোণ করিয়া বসানো। নলের একপ্রান্ত একখানি শক্ত কার্ডবোর্ডের টুক্‌রা দ্বারা বন্ধ করা এবং ইহার মাঝখানে একটি ছিদ্র আছে। নলের অপর প্রান্ত একখানি ঘষা কাচ দ্বারা বন্ধ করা থাকে। এই ঘষা কাচের উপর দর্পণ তিনটির ভিতর কয়েক টুক্‌রা বিভিন্ন রং-এর কাচখণ্ড রাখা হয় এবং তারপর একখানি পরিষ্কার কাচের প্লেট রাখা হয় [2·11 (ii) নং চিত্র]। যখন কোন ব্যক্তি কার্ডবোর্ডের


(i)



(ii)

চিত্র 2·11

ছিদ্র দিয়া তাকায় তখন সে দর্পণগুলি কর্তৃক বিভিন্ন রংয়ের কাচের টুকরার প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়। প্রত্যেক জোড়া দর্পণ 60° কোণে অবস্থিত বলিয়া পাঁচটি প্রতিবিম্ব তৈয়ারী করিবে এবং সব প্রতিবিম্ব মিলিয়া একটি সুন্দর নক্‌শা (pattern) তৈয়ারী হইবে [2·11 (i) নং চিত্র]। নলটি আস্তে আস্তে ঘুরাইলে কাচখণ্ডগুলির অবস্থানের কিছু কিছু পরিবর্তন হইবে। তাহার ফলে নতুন নতুন নক্‌শা দেখা যাইবে।

2·9. ঘূর্ণায়মান দর্পণ (Rotating mirror) **:** আপতিত রশ্মির কোন দিক্ পরিবর্তন না করিয়া দর্পণকে θ কোণে ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি 2θ কোণ ঘুরিবে। ইহাই ঘূর্ণায়মান দর্পণের নীতি।

ধরা যাউক, MM হইল দর্পণের প্রথম অবস্থান (2·12 নং চিত্র)। AO আপতিত রশ্মি ও OB প্রতিফলিত রশ্মি। ON হইল আপতন বিন্দু O হইতে MM রেখার উপর অভিলম্ব। এখানে $\angle AON = \angle BON$ (প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী)। ধরা যাউক, উভয়েই α, সুতরাং $\angle AOB = 2\alpha$

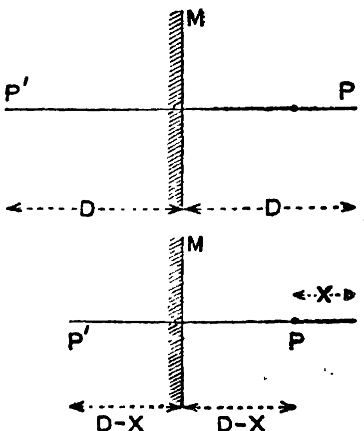
চিত্র 2·12

এবার দর্পণ θ কোণ ঘুরিয়া M_1M_1 রেখায় অবস্থান করিল। সুতরাং অভিলম্বও θ কোণ ঘুরিবে। ধর, অভিলম্ব ON_1 রেখায় অবস্থান করিল। এই অবস্থাতে ধরা যাউক, OB_1 প্রতিফলিত রশ্মি। সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মি যে-কোণ ঘুরিল তাহা হইল $\angle BOB_1$, প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী, $\angle AON_1 = \angle B_1ON_1$ কিন্তু $\angle AON_1 = \alpha + \theta$; সুতরাং $\angle AOB_1 = 2(\alpha + \theta)$

$$\therefore \quad \angle BOB_1 = \angle AOB_1 - \angle AOB = 2(\alpha + \theta) - 2\alpha = 2\theta$$

সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মি যে-কোণ ঘুরিল ($\angle BOB_1$) তাহা 2θ.

2·10. সমতল দর্পণ সংক্রান্ত কয়েকটি সমস্যা :



চিত্র 2·13

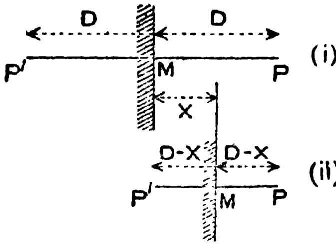
(1) যদি কোন লক্ষ্যবস্তু দর্পণের দিকে অথবা দর্পণ হইতে দূরে সরিয়া যায় তবে উহার প্রতিবিম্বও অনুরূপভাবে সমান দূরে সরিবে।

ধরা যাউক, P বিন্দু দর্পণ M হইতে D দূরে অবস্থিত (2·13 নং চিত্র)। উহার প্রতিবিম্ব P′ বিন্দুও দর্পণ হইতে D দূরে থাকিবে। এখন P বিন্দু যদি দর্পণের দিকে X সরিয়া আসে তবে উহার বর্তমান দূরত্ব হইবে $(D-X)$।

সুতরাং উহার প্রতিবিম্বের দূরত্বও হইবে $(D-X)$। পূর্বে প্রতিবিম্বের দূরত্ব ছিল D, অতএব প্রতিবিম্ব দর্পণের দিকে $D-(D-X)$ অর্থাৎ X সরিয়া গেল।

(2) যদি দর্পণ কোন লক্ষ্যবস্তুর দিকে অথবা লক্ষ্যবস্তু হইতে দূরে সরিয়া যায় তবে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব অনুরূপভাবে উহার দ্বিগুণ সরিবে।

ধরা যাউক, P বিন্দু M দর্পণ হইতে D দূরে অবস্থিত। উহার প্রতিবিম্ব P′ বিন্দুও দর্পণের পশ্চাতে D দূরে থাকিবে [2·14(i) নং চিত্র]।



চিত্র 2·14

এখন যদি দর্পণ P বিন্দুর দিকে X সরিয়া যায় তবে P বিন্দুর বর্তমান দূরত্ব $= D - X$ 2·14(ii) নং চিত্র]।

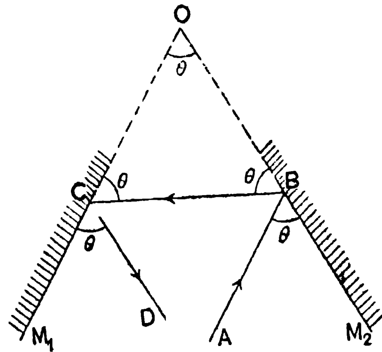
সুতরাং প্রতিবিম্ব P′ দর্পণের পশ্চাতে $(D - X)$ দূরে থাকিবে।

লক্ষ্যবস্তু ও প্রতিবিম্বের ভিতর পূর্বেকার দূরত্ব $= 2D$

এখন লক্ষ্যবস্তু ও প্রতিবিম্বের ভিতর দূরত্ব $= 2(D - X)$। যেহেতু বস্তু স্থির, কাজেই প্রতিবিম্বের সরণ $= 2D - 2(D - X) = 2X$

অতএব, দর্পণ লক্ষ্যবস্তুর দিকে X সরিলে ঐ বস্তুর প্রতিবিম্ব 2X সরিবে।

(3) দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের ভিতর একটি নির্দিষ্ট কোণে অবস্থান করে। একটি রশ্মি প্রথম দর্পণের সমান্তরালভাবে গিয়া দ্বিতীয় দর্পণে পড়িল এবং প্রতিফলিত হইয়া প্রথম দর্পণে আপতিত হইল এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া দ্বিতীয় দর্পণের সমান্তরালভাবে বাহির হইল। দর্পণ দুইটির অভ্যন্তরস্থ কোণ নির্ণয় কর।



চিত্র 2·15

ধরা যাউক, M_1 ও M_2 দর্পণ দুইটি পরস্পরের ভিতর M_1OM_2 কোণ করিয়া আছে। AB একটি রশ্মি M_1-দর্পণের সমান্তরালভাবে গিয়া M_2 দর্পণে B বিন্দুতে আপতিত হইল। ঐ রশ্মি BC পথে প্রতিফলিত হইয়া M_1 দর্পণে পড়িল এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া M_2 দর্পণের সমান্তরালভাবে CD পথে নির্গত হইল (2·15 নং চিত্র)।

যেহেতু AB ও M_1O সমান্তরাল এবং OM_2 উহাদের ছেদ করে, সেইহেতু $\angle ABM_2 = \angle M_1OM_2 = \theta$ (ধর)।

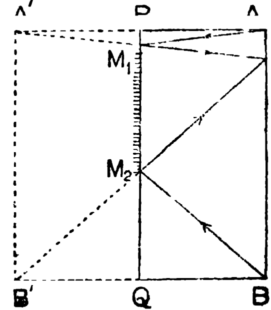
আবার CD ও M_2O সমান্তরাল এবং M_1O উহাদের ছেদ করে বলিয়া $\angle M_1CD = \angle M_1OM_2 = \theta$.

আবার, AB আপতিত রশ্মি ও BC প্রতিফলিত রশ্মি হওয়াতে $\angle ABM_2 = \angle CBO = \theta$. একই কারণে $\angle M_1CD = \angle BCO = \theta$.

অর্থাৎ ΔOBC-তে তিনটি কোণ পরস্পরের সমান। কাজেই $\angle M_1OM_2 = 60°$.

(4) প্রমাণ কর, কমপক্ষে নিজ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণে কোন ব্যক্তি তাহার পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে।

ধর, AB মানুষের দৈর্ঘ্য এবং E তাহার চক্ষু (2·16 নং চিত্র)। PQ মানুষের সম্মুখে অবস্থিত দর্পণ। A হইতে PQ রেখার উপর লম্ব টানিয়া উহাকে A′ পর্যন্ত বর্ধিত কর যাহাতে AP=A′P হয়। সুতরাং A′ হইবে A বিন্দুর প্রতিবিম্ব। A′ ও E যোগ কর এবং মনে কর, উহা দর্পণকে M_1 বিন্দুতে ছেদ করিল। রশ্মি A হইতে নির্গত হইয়া দর্পণ দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইলে মনে হইবে A বিন্দু A′ বিন্দুতে অবস্থান করিতেছে। অর্থাৎ দর্পণ M_1 বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত হইলে A′ প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। তেমনি সর্বনিম্ন বিন্দু B-কে দেখিতে হইলে দর্পণ M_2 বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত হওয়া দরকার। সুতরাং নিজ দেহের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে কম পক্ষে M_1M_2 দৈর্ঘ্যের দর্পণ প্রয়োজন।



চিত্র 2·16

AA′E ত্রিভুজে P বিন্দু AA′ রেখার মধ্যবিন্দু হওয়াতে এবং PM_1 রেখা AE রেখার সমান্তরাল বলিয়া M_1 বিন্দু A′E রেখার মধ্যবিন্দু।

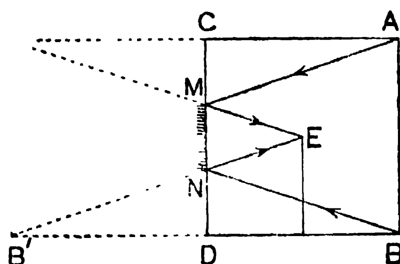
অনুরূপ কারণে M_2 বিন্দু B′E রেখার মধ্যবিন্দু প্রমাণ করা যায়। সুতরাং EA′B′ ত্রিভুজের দুই বাহুর মধ্যবিন্দু M_1 ও M_2 হওয়াতে M_1M_2 রেখা A′B′ রেখার অর্ধেক। অর্থাৎ, দর্পণের কার্যকর অংশ (M_1M_2) মানুষের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হওয়া প্রয়োজন।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে, ব্যক্তি দর্পণের সম্মুখে কতদূরে এবং কোথায় দাঁড়াইবে এ প্রশ্ন এখানে উঠে না। অর্থাৎ ব্যক্তি দর্পণের সম্মুখে যতদূরেই দাঁড়াক সেখান হইতে সে উক্ত দৈর্ঘ্যের দর্পণের মধ্য দিয়া নিজ আকৃতির পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিবে।

(5) একটি ঘরের দেওয়ালে একখানি দর্পণ টাঙানো আছে এবং ঘরের মধ্যস্থলে একজন লোক দাঁড়াইয়া আছে। দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইলে লোকটি তাহার পিছনের দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে।

ধর, AB এবং CD হইল দুই দেওয়াল এবং ঘরের মাঝখানে দণ্ডায়মান EF হইল লোকটি। E লোকের চক্ষু (চিত্র 2·17)। AC দৈর্ঘ্যের সমান করিয়া CA′ টান এবং BD দৈর্ঘ্যের

সমান করিয়া DB′ টান। স্পষ্টত A′B′ হইবে AB দেওয়ালের প্রতিবিম্ব। দর্শককে এই প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইবে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে।



2·17

A′ এবং B′ এর সহিত E যুক্ত কর। মনে কর, উহারা CD দেওয়ালকে M এবং N বিন্দুতে ছেদ করিল। MN হইবে দর্পণের প্রয়োজনীয় দৈর্ঘ্য; কারণ A বিন্দু হইতে আলোকরশ্মি M বিন্দু কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইলে চোখ A′ প্রতিবিম্ব দেখিবে। আবার, B বিন্দু হইতে অনুরূপভাবে আলোকরশ্মি N বিন্দু কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছাইলে চোখ B′ প্রতিবিম্ব দেখিবে। সুতরাং দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে MN হইলে চোখ পূর্ণ প্রতিবিম্ব A′B′ দেখিতে পাইবে। এখন, FD=FB এবং B′D=DB.

$\therefore\ DF=\frac{1}{3}B'F.$

যেহেতু, DN এবং EF সমান্তরাল এবং $DF=\frac{1}{3}B'F$; কাজেই, $NE=\frac{1}{3}B'E$

একই কারণে, $ME=\frac{1}{3}A'E$

এখন, A′EB′ এবং MNE ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

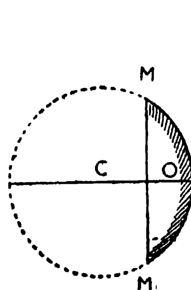
অতএব $\dfrac{MN}{A'B'}=\dfrac{ME}{A'E}=\dfrac{NE}{B'E}=\frac{1}{3}\quad \therefore\quad MN=\frac{1}{3}\,A'B'=\frac{1}{3}AB$

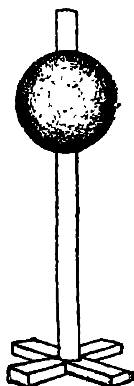
অর্থাৎ দর্পণের ন্যূনতম দৈর্ঘ্য $=\frac{1}{3}\times$ দেওয়ালের উচ্চতা।

2·11. গোলীয় দর্পণ (Spherical mirrors):

বক্রতলে আলোর প্রতিফলন সৃষ্টি করিবার সহজ উপায় হইতেছে গোলীয় দর্পণ। গোলীয় দর্পণ দুই প্রকার হইতে পারে। যথা: (i) **উত্তল** (convex) এবং (ii) **অবতল** (concave)।

যদি কোন ফাঁপা গোলক MOM-এর বাহিরের কিছু অংশ চকচকে হয় [চিত্র 2·18(a)] এবং আলোকরশ্মিকে প্রতিফলিত করে তবে উহাকে উত্তল দর্পণ বলে। 2·18(b) নং চিত্রে একটি উত্তল দর্পণের পূর্ণাঙ্গ আকৃতি দেখানো হইয়াছে।

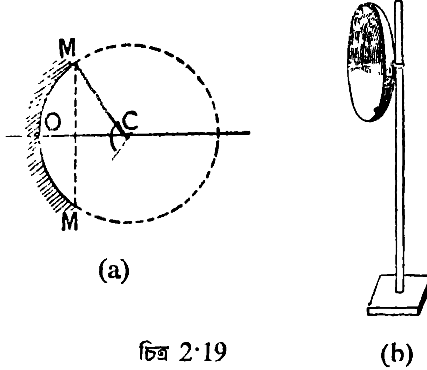




(a) চিত্র 2·18 (b)

যদি কোন ফাঁপা গোলক MOM-এর ভিতরের কিছু অংশ [চিত্র 2·19(a)] চকচকে হয়

এবং আলোকরশ্মি প্রতিফলিত করে তবে উহাকে অবতল দর্পণ বলা হয়। 2·19(b) নং চিত্রে অবতল দর্পণের পূর্ণাঙ্গ আকৃতি দেখানো হইয়াছে।



চিত্র 2·19

2·12. **গোলীয় দর্পণ সংক্রান্ত কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা** (Some important definitions in connection with a spherical mirror) :

(i) **মধ্যবিন্দু** (Pole) : প্রতিফলন তলের মধ্যবিন্দু অর্থাৎ O বিন্দুকে দর্পণের মধ্যবিন্দু বলা হয় [চিত্র 2·18(a) অথবা চিত্র 2·19(a)]।

(ii) **বক্রতা কেন্দ্র** (Centre of curvature) : দর্পণ যে গোলকের অংশ সেই গোলকের কেন্দ্রবিন্দুকে উক্ত দর্পণের বক্রতা কেন্দ্র বলে। চিত্র 2·18(a) এবং 2.19(*a*)-তে C বিন্দু হইল MOM দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র।

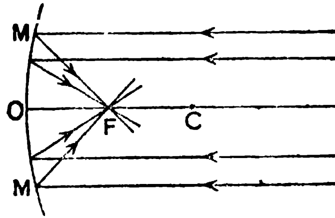
(iii) **প্রধান অক্ষ** (Principal axis) : দর্পণের মধ্যবিন্দু এবং বক্রতা-কেন্দ্র যোগ করিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় উহাকে দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে। উপরে প্রদর্শিত চিত্রগুলিতে OC সরলরেখা MOM দর্পণের প্রধান অক্ষ।

(iv) **বক্রতা ব্যাসার্ধ** (Radius of curvature) : দর্পণ যে গোলকের অংশ সেই গোলকের যে কোন ব্যাসার্ধকে উক্ত দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ বলা হয়। যেমন 2·18(*a*) এবং 2·19(a) চিত্রে CO হইল MOM দর্পণের একটি বক্রতা-ব্যাসার্ধ।

(v) **উন্মেষ** (Aperture) : গোলীয় দর্পণের উন্মেষ বলিতে ঐ দর্পণ উহার বক্রতা-কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে তাহা বুঝায়। যেমন 2·18(*a*) এবং 2·19(*a*) চিত্রে MOM চাপ (arc) C বিন্দুতে যে কোণ উৎপন্ন করিবে তাহাই হইবে ঐ দর্পণের উন্মেষ। গোলীয় দর্পণের পরবর্তী আলোচনায় আমরা সর্বদা ছোট উন্মেষযুক্ত দর্পণ লইব। যদি কেন্দ্রবিন্দুতে উৎপন্ন কোণ 10° অপেক্ষা ক্ষুদ্র হয় তবে ঐ দর্পণকে ক্ষুদ্র উন্মেষযুক্ত দর্পণ বলিয়া গণ্য করা হইবে।

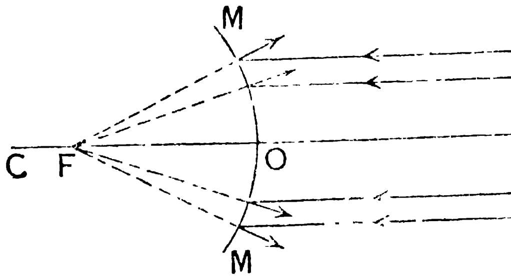
(vi) **মুখ্য ফোকাস** (Principal focus) ধরা যাউক MOM একটি অবতল বা উত্তল দর্পণ। একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি দর্পণের উপর প্রধান অক্ষের সমান্তরাল ভাবে আসিয়া দর্পণের উপর আপতিত হইল [চিত্র 2·20(*a*) এবং (*b*)]। দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত

হইবার পর দেখা যাইবে যে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি প্রধান অক্ষস্থিত একটি বিন্দুতে (F) মিলিত হইতেছে [চিত্র 2.20(a)] অথবা এমনভাবে প্রতিফলিত হইতেছে যে প্রতিফলিত রশ্মিগুলিকে পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করিলে প্রধান অক্ষস্থিত কোন বিন্দু (F) হইতে অপসৃত হইতেছে [চিত্র 2.20(b)]। উক্ত F বিন্দুকে বলা হয় দর্পণের মুখ্য ফোকাস।



চিত্র 2·20(a)

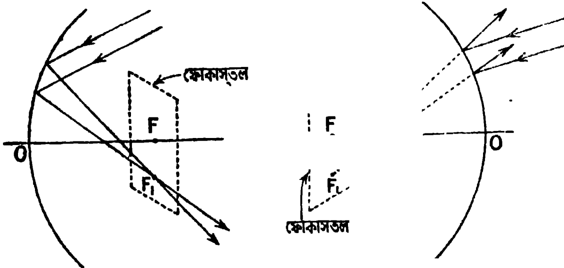
(vii) **ফোকাস দূরত্ব** (Focal length) : দর্পণের মধ্যবিন্দু O হইতে ফোকাস F পর্যন্ত দূরত্বকে ফোকাস-দূরত্ব বলা হয়।



চিত্র 2·20(b)

(viii) **ফোকাসতল এবং গৌণ ফোকাস** (Focal plane and secondary focus) :

অবতল অথবা উত্তল দর্পণের ফোকাস বিন্দুর মধ্য দিয়া উহাদের প্রধান অক্ষের সহিত লম্ব-ভাবে যদি কোন তল (plane) কল্পনা করা হয় তবে উহাকে ঐ দর্পণের ফোকাসতল বলা হয়।



(a) চিত্র 2·21 (b)

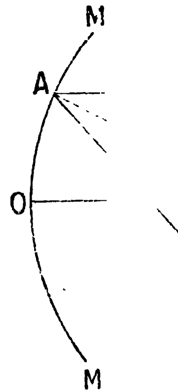
একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি প্রধান অক্ষের সহিত আনত ভাবে দর্পণের উপর আপতিত হইলে প্রতিফলনের পর প্রতিফলিত রশ্মিগুলি অবতল দর্পণের বেলাতে ফোকাস-তলের কোন বিন্দু

(F_1)-তে মিলিত হয় [চিত্র 2.21(*a*)] এবং উত্তল দর্পণের বেলাতে ফোকাসতলের কোন বিন্দু (F_1) হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় [চিত্র 2.21(b)]। F_1 বিন্দুকে বলা হইবে দর্পণের গৌণ ফোকাস।

মনে রাখিতে হইবে, দর্পণের মুখ্য ফোকাস প্রধান অক্ষস্থিত একটি নির্দিষ্ট বিন্দু কিন্তু গৌণ ফোকাস কোন নির্দিষ্ট বিন্দু নয়।

2.13 দর্পণের ফোকাস দূরত্ব এবং বক্রতা-ব্যাসার্ধের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between the focal length and the radius of curvature of a mirror) : নিম্নলিখিতরূপে প্রমাণ করা যায় যে ক্ষুদ্র উন্মেষযুক্ত অবতল অথবা উত্তল দর্পণের ফোকাসদূরত্ব উহার বক্রতা-ব্যাসার্ধের অর্ধেক।

ধর, MOM একটি ক্ষুদ্র উন্মেষযুক্ত অবতল দর্পণ [চিত্র 2.22]। C দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র এবং OC বক্রতা-ব্যাসার্ধ। প্রধান অক্ষের সমান্তরাল একটি রশ্মি PA দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইলে ফোকাস বিন্দু F-এর ভিতর দিয়া যাইবে। OF দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব। A এবং C বিন্দুদ্বয় যোগ কর। AC রেখা হইবে A বিন্দুতে দর্পণের উপর লম্ব।



চিত্র 2·22

এখন, প্রতিফলনের নিয়মানুযায়ী, $\angle PAC = \angle FAC$

আবার, AP এবং OC পরস্পরের সমান্তরাল হওয়ায়, $\angle PAC = \angle ACF$

$$\therefore \quad \angle FAC = \angle ACF$$

কাজেই, $AF = FC$; যেহেতু দর্পণের উন্মেষ খুব ছোট সেই হেতু A এবং O বিন্দুদ্বয় খুব কাছাকাছি থাকিবে। এক্ষেত্রে $AF = OF$ ধরা যাইতে পারে। সুতরাং

$$OF = FC, \text{ অর্থাৎ } OF = \frac{OC}{2}$$

ফোকাস-দূরত্ব 'f' এবং বক্রতা-ব্যাসার্ধ 'r' হইলে, $f = \frac{r}{2}$

অনুরূপভাবে উত্তল দর্পণ লইয়াও প্রমাণ করা যায় যে $f = \frac{r}{2}$

2.14 গোলীয় দর্পণ কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন (Image formation by spherical mirrors) : গোলীয় দর্পণের সম্মুখে কোন বস্তু রাখিলে দর্পণ উহার প্রতিবিম্ব গঠন

করে। এই প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও সাইজ জ্যামিতিক উপায়ে নির্ণয় করা সম্ভব। কারণ, কোন অবতল বা উত্তল দর্পণের ফোকাস-বিন্দু ও বক্রতাকেন্দ্র নির্দিষ্ট হইলে কয়েকটি বিশেষ রশ্মি ঐ দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইবার পর কোন্ পথে যাইবে তাহা আমরা সহজেই স্থির করিতে পারি। যেমন,

(i) কোন রশ্মি বক্রতা-কেন্দ্রের ভিতর দিয়া দর্পণে আপতিত হইলে প্রতিফলিত হইবার পর পুনরায় ঐ পথেই প্রত্যাবর্তন করিবে।

(ii) কোন রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে দর্পণে আপতিত হইলে প্রতিফলিত রশ্মি ফোকাস-বিন্দুর মধ্য দিয়া যাইবে অথবা ফোকাসবিন্দু দিয়া অপসৃত হইবে।

(iii) কোন রশ্মি ফোকাস-বিন্দুর মধ্য দিয়া দর্পণে আপতিত হইলে প্রতিফলনের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে চলিয়া যাইবে।

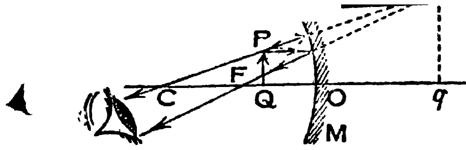
উপরোক্ত তিনটি রশ্মি অথবা উহাদের যে কোন দুইটির সাহায্যে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ইত্যাদি নির্ণয় করা যাইবে।

লক্ষ্যবস্তু প্রধান অক্ষের বিভিন্ন স্থানে রাখিলে অবতল দর্পণ উহার কিরূপ প্রতিবিম্ব গঠন করে তাহা 2.23—2.28 নং চিত্রগুলিতে দেখানো হইয়াছে। ঐ সকল চিত্রে লক্ষ্যবস্তুকে উল্লম্ব রেখা PQ দ্বারা এবং প্রতিবিম্বকে pq রেখা দ্বারা বুঝানো হইয়াছে।

চিত্র 2.23 লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে লক্ষ্যবস্তু (PQ) ফোকাসবিন্দু F এবং O বিন্দুর মধ্যে অবস্থিত এবং P বিন্দুর প্রতিবিম্ব জ্যামিতিক উপায়ে নির্ধারণ করিতে উপরোক্ত (i) এবং (ii) নং রশ্মির সহায়তা লওয়া হইয়াছে। উহাদের প্রতিফলিত রশ্মি অঙ্কন করিলে দেখা যায় উহারা দর্পণের পশ্চাতস্থিত p বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং p হইবে P বিন্দুর অসদ বিম্ব। এইভাবে লক্ষ্যবস্তুর উপর অন্যান্য বিন্দুর ক্ষেত্রে একই অঙ্কন পদ্ধতি অবলম্বন করিলে আমরা pq রেখার উপর অন্যান্য অসদ বিম্বগুলি পাইব। এক্ষেত্রে মোট প্রতিবিম্ব বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর, অসদ, সমশীর্ষ (erect) এবং দর্পণের পশ্চাতে গঠিত হয়।

2.24 নং চিত্রে লক্ষ্যবস্তুকে আর একটু বামদিকে সরাইয়া দর্পণের ফোকাসে রাখা হইয়াছে। লক্ষ্যবস্তুর যে কোন বিন্দু হইতে আলোকরশ্মি নির্গত হইয়া দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলনের পর পরস্পরের সমান্তরাল হইবে। এই অবস্থায় বলা হয় ঐ প্রতিফলিত রশ্মিগুলি অসীমে যাইয়া পরস্পরের সহিত ছেদ করে এবং তথায় প্রতিবিম্ব গঠন করে।

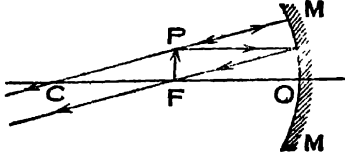
2.25 হইতে 2.28 নং চিত্রগুলিতে লক্ষ্যবস্তুকে ক্রমশ বামদিকে সরাইয়া অসীমে লইয়া গেলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, সাইজ এবং প্রকৃতির কিরূপ পরিবর্তন হয় তাহা দেখানো হইয়াছে। লক্ষ্যণীয় যে এই সকলক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব সদ এবং অবশীর্ষ (inverted)। তাছাড়া, যত লক্ষ্যবস্তু দর্পণ হইতে দূরে সরিয়া যাইতেছে প্রতিবিম্বের সাইজও তত ছোট হইয়া আসিতেছে।



প্রতিবিম্ব

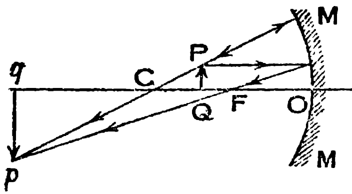
(i) দর্পণের পশ্চাতে
(ii) অসদ ও সমশীর্ষ
(iii) বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর

চিত্র 2·23



বস্তু F বিন্দুতে ;
প্রতিবিম্ব অসীমে

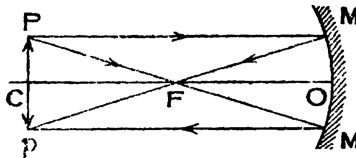
চিত্র 2·24



বস্তু F এবং C এর মধ্যে;
প্রতিবিম্ব

(i) C এর বামদিকে
(ii) সদ ও অবশীর্ষ
(iii) বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর

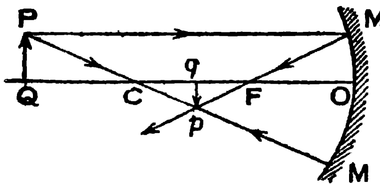
চিত্র 2·25



বস্তু C বিন্দুতে ;
প্রতিবিম্ব

(i) C বিন্দুতে
(ii) সদ ও অবশীর্ষ
(iii) বস্তুর সমান সাইজ

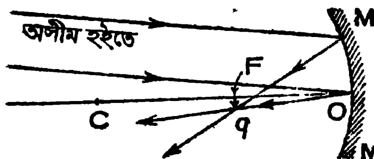
চিত্র 2·26



বস্তু C-এর বামদিকে;
প্রতিবিম্ব

(i) C এবং F এর মধ্যে
(ii) সদ ও অবশীর্ষ
(iii) বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর

চিত্র 2·27

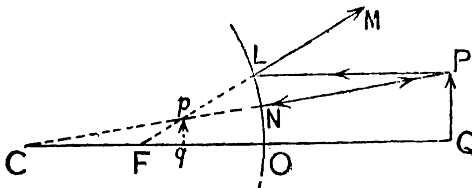


বস্তু অসীমে

(i) F বিন্দুতে
(ii) সদ ও অবশীর্ষ
(iii) বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর

চিত্রগুলিতে কখন কাটা লাইন কখনও বা টানা লাইন ব্যবহার করা হইয়াছে। সর্ববাদী-সম্মত প্রথা অনুযায়ী টানা লাইন সদ বস্তু, সদ প্রতিবিম্ব বা সদ রশ্মি বুঝাইবে এবং কাটা লাইন অসদ প্রতিবিম্ব এবং অসদ রশ্মি বুঝাইবে।

উত্তল দর্পণ কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন ঃ PQ উত্তল দর্পণের সম্মুখে একটি লক্ষ্য-বস্তু। P বিন্দু হইতে একটি রশ্মি PL প্রধান অক্ষের সমান্তরালে গিয়া দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইলে মনে হইবে যেন উহা F বিন্দু হইতে আসিতেছে। আর একটি রশ্মি PN এমনভাবে দর্পণে আপতিত হইল যে দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র C অভিমুখে যাইতে চায়। এ অবস্থায় রশ্মিটি প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় NP পথে ফিরিয়া যাইবে। এই দুইটি প্রতিফলিত রশ্মি কোথাও মিলিত হয় না; কিন্তু পশ্চাতে বর্ধিত করিলে মনে হয় p বিন্দু হইতে আসিতেছে। অর্থাৎ p বিন্দু হইল P বস্তুবিন্দুর অসদ বিম্ব। এইভাবে অন্যান্য বস্তুবিন্দুরও প্রতিবিম্ব অঙ্কন করা যাইবে। চিত্র হইতে দেখা যায় যে এই প্রতিবিম্ব অসদ, সমশীর্ষ এবং বস্তু হইতে ক্ষুদ্রতর [চিত্র 2·29]। বস্তু যেখানেই থাকুক না কেন, উত্তল দর্পণে প্রতিবিম্বের আকৃতি সর্বদা ক্ষুদ্রতর, সর্বদা সমশীর্ষ এবং অসদ হয়।



চিত্র 2·29

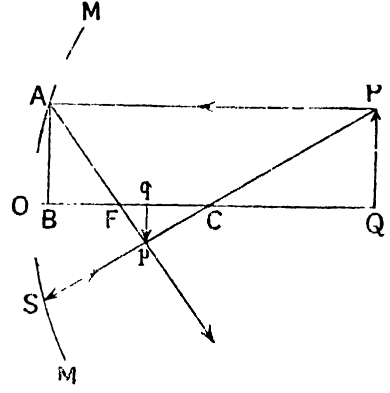
2·15 **চিহ্নের প্রথা** (Convention of sign) ঃ বিভিন্ন স্থানে লক্ষ্যবস্তু রাখিয়া প্রতিবিম্ব গঠন করিলে দেখা গেল যে প্রতিবিম্ব কখন কখন লক্ষ্যবস্তু যেদিকে সেইদিকে হইতেছে কখনও বা বিপরীত দিকে হইতেছে। সুতরাং বিভিন্ন লক্ষ্যবস্তু দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব দূরত্ব বিবেচনা করিতে গেলে উহাদের যথোপযুক্ত চিহ্ন (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক) দিয়া লইতে হইবে। এই প্রথা নিম্নরূপ ঃ

দর্পণের মধ্যবিন্দু হইতে লক্ষ্যবস্তু, প্রতিবিম্ব অথবা অন্য কোন বিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব মাপিতে গেলে যদি আপতিত রশ্মির বিপরীত দিকে অগ্রসর হইতে হয় তবে ঐ দূরত্বকে ধনাত্মক ধরা হইবে ; আর যদি আপতিত রশ্মির দিকে যাইতে হয়, তবে ঐ দূরত্বকে ঋণাত্মক ধরা হইবে।

এই প্রথানুসারে অবতল দর্পণের ফোকাস দূরত্ব ধনাত্মক এবং উত্তল দর্পণের ঋণাত্মক [চিত্র 2·20 (a) এবং (b)।

2·16 **লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, প্রতিবিম্বের দূরত্ব ও ফোকাস দূরত্বের পারস্পরিক সম্পর্ক** **(Relation between the object distance, the image distance and the focal length of a spherical mirror) :**

(ক) **অবতল দর্পণঃ** PQ একটি লক্ষ্যবস্তু MOM অবতল দর্পণের সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে দণ্ডায়মান। P বিন্দু হইতে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল একটি রশ্মি PA এবং বক্রতা-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া একটি রশ্মি PC প্রতিফলিত হইয়া *pq* সদবিম্ব গঠন করিলে [চিত্র 2·30]। এস্থলে,



চিত্র 2·30

ফোকাস দূরত্ব $=OF=f$ প্রতিবিম্ব দূরত্ব $=Oq=v$; লক্ষ্যবস্তু দূরত্ব $=CQ=u$; চিহ্নের প্রথানুসারে, উপরোক্ত সব কয়টি দূরত্বই ধনাত্মক। এখন, A বিন্দু হইতে প্রধান অক্ষের উপর AB লম্ব টান।

Δs PCQ এবং pCq হইতে লেখা যায়, $\dfrac{PQ}{pq}=\dfrac{CQ}{Cq}$

আবার, Δs ABF এবং pFq ,, ,, ,, $\dfrac{AB}{pq}=\dfrac{BF}{Fq}$

কিন্তু যেহেতু, $AB=PQ$, সেইহেতু, $\dfrac{PQ}{pq}=\dfrac{AB}{pq}$.

$$\therefore \frac{CQ}{Cq}=\frac{BF}{Fq}=\frac{OF}{Fq}$$ [যেহেতু দর্পণের উন্মেষ খুব ক্ষুদ্র]

কিন্তু $CQ=(u-2f)$; $Cq=(2f-v)$; $OF=f$ এবং $Fq=(v-f)$

$$\therefore \frac{u-2f}{2f-v}=\frac{f}{v-f}$$

অথবা, $uv-uf-2fv+2f^2=2f^2-fv$ অথবা, $uv=uf+vf$

,, $\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{v}+\dfrac{1}{u}$. [$u.v.f$ দিয়া ভাগ করিয়া]

(খ) **উত্তল দর্পণঃ** PQ একটি বস্তু MOM উত্তল দর্পণের সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে দণ্ডায়মান। P বিন্দু হইতে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল একটি রশ্মি

PA এবং বক্রতা-কেন্দ্রের অভিমুখে আগত PC একটি রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া pq অসদ বিম্ব গঠন করিল [চিত্র 2·31]। এস্থলে

ফোকাস দূরত্ব $= OF = -f$

প্রতিবিম্ব দূরত্ব $= Oq = -v$ এবং লক্ষ্যবস্তু দূরত্ব $= OQ = u$

A বিন্দু হইতে প্রধান অক্ষের উপর AB লম্ব টানা হইল। এখন Δs PCQ এবং pCq হইতে লেখা যায়, $\frac{PQ}{pq} = \frac{CQ}{Cq}$

আবার, Δs ABF এবং pFq হইতে পাই, $\frac{AB}{pq} = \frac{BF}{Fq}$

কিন্তু যেহেতু $AB = PQ$,

চিত্র 2·31

সেইহেতু $\frac{AB}{pq} = \frac{PQ}{pq}$

$$\therefore \frac{CQ}{Cq} = \frac{BF}{Fq} = \frac{OF}{Fq}$$ (যেহেতু দর্পণের উন্মেষ খুব ক্ষুদ্র)

কিন্তু $CQ = u + (-2f)$; $Cq = -2f - (-v)$; $OF = -f$; $Fq = -f - (-v)$

$$\therefore \frac{u + (-2f)}{-2f - (-v)} = \frac{-f}{-f - (-v)} \text{ অথবা, } \frac{u - 2f}{v - 2f} = \frac{f}{f - v}$$

অথবা, $uf - uv - 2f^2 + 2f.v. = f.v. - 2f^2$

,, $$uv = fv + uf$$

,, $$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$ ($u.v.f.$ দিয়া ভাগ করিয়া]

2.17 **অনুবন্ধী ফোকাস যুগল** (Pair of conjugate focii) : কোন গোলীয় দর্পণের প্রধান অক্ষস্থিত দুইটি বিন্দুর দূরত্ব দর্পণ হইতে 'u' এবং 'v' ধরা হইলে উহারা যদি দর্পণের সমীকরণে $\left(\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}\right)$ প্রযোজ্য হয় তবে ঐ বিন্দু দুইটিকে অনুবন্ধী ফোকাসযুগল বলা হয়। উপরোক্ত সমীকরণ হইতে সহজে বোঝা যায় যে 'v'-এর পরিবর্তে 'u' এবং 'u'-এর পরিবর্তে 'v' লিখিলে ঐ সমীকরণের কোন হেরফের হয় না। অর্থাৎ বস্তু ও সদ প্রতিবিম্ব পারস্পরিক অবস্থান পরিবর্তন করিতে পারে। 2.25—2.27 চিত্রগুলি লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে pq প্রতিবিম্বের স্থানে PQ বস্তু রাখিলে উহার সদবিম্ব PQ-এর পূর্ব অবস্থানে গঠিত হইবে।

সুতরাং অনুবন্ধী ফোকাসযুগল বলিতে এমন দুইটি বিন্দু বুঝাইবে যে, উহাদের যে কোন একটিতে বস্তু রাখিলে অপরটিতে সদবিম্ব গঠিত হইবে।

2.18 **রৈখিক বিবর্ধন (Linear magnification)** ঃ প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধন বলিতে আমরা বুঝি যে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কতগুণ।

অর্থাৎ, রৈখিক বিবর্ধন $(m) = \dfrac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্য}}$

2.30 এবং 2.31 নং চিত্র হইতে বলা যায় যে, রৈখিক বিবর্ধন, $m = \dfrac{pq}{PQ}$

Δs PCQ এবং pCq হইতে লেখা যায়, $\dfrac{pq}{PQ} = \dfrac{Cq}{CQ} = \dfrac{OC-Qq}{OQ-OC} = \dfrac{r-v}{u-r}$

গোলীয় দর্পণের সাধারণ সমীকরণ হইতে আমরা জানি,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r} \text{ অথবা, } \frac{1}{v} - \frac{1}{r} = \frac{1}{r} - \frac{1}{u}$$

অথবা, $\dfrac{r-v}{v.r} = \dfrac{u-r}{u.r.}$ অথবা, $\dfrac{r-v}{u-r} = \dfrac{v}{u}$

$$m = \frac{pq}{PQ} = \frac{r-v}{u-r} = \frac{v}{u} = \frac{\text{প্রতিবিম্ব দূরত্ব}}{\text{লক্ষ্যবস্তু দূরত্ব}}$$

Examples ঃ (1) একটি বস্তুকে 12cm. ফোকাস দৈর্ঘ্যের একখানি অবতল দর্পণের সম্মুখে (*a*) 20cm. দূরে এবং (b) 4cm. দূরে রাখা হইল। প্রত্যেক ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি এবং সাইজ নির্ধারণ কর।

উ। (a) এস্থলে, $u = +20\text{cm}$; $f = +12\text{cm}$; $v = ?$

আমরা জানি, $\dfrac{1}{v} + \dfrac{1}{u} = \dfrac{1}{f}$

অথবা, $\dfrac{1}{v} + \dfrac{1}{20} = \dfrac{1}{12}$ $\therefore$ $\dfrac{1}{v} = \dfrac{1}{12} - \dfrac{1}{20} = +\dfrac{2}{60}$ $\qquad v = +30\text{cm}.$

v ধনাত্মক হওয়ায় বোঝা যাইতেছে যে প্রতিবিম্ব সদ এবং দর্পণ হইতে 30cm. দূরে গঠিত হইয়াছে। বিবর্ধন $= \dfrac{v}{u} = \dfrac{30}{20} = \dfrac{3}{2} = \underline{1.5}$

(b) এস্থলে, $u = +4\text{cm.}$; $f = +12\text{cm}$; $v = ?$

এখন, $\dfrac{1}{v} + \dfrac{1}{u} = \dfrac{1}{f}$

অথবা, $\dfrac{1}{v} + \dfrac{1}{4} = \dfrac{1}{12}$ $\therefore$ $\dfrac{1}{v} = \dfrac{1}{12} - \dfrac{1}{4} = \dfrac{-2}{12} = -\dfrac{1}{6}$

$$\therefore \quad v = -6\text{cm}.$$

v ঋণাত্মক হওয়ায় প্রতিবিম্বের অবস্থান দর্পণের পশ্চাতে এবং দর্পণ হইতে 6cm. দূরে। বলা বাহুল্য, প্রতিবিম্ব অসদ। বিবর্ধন $=\frac{v}{u}=\frac{6}{4}=\underline{1.5}$

(2) 18cm. ফোকাস দৈর্ঘ্যের একখানি উত্তল দর্পণ উহার অক্ষের উপর 6cm. দূরে একটি অসদবিম্ব গঠন করিল। বস্তুর অবস্থান নির্ণয় কর।

উ। এক্ষেত্রে $v=-6$cm. (অসদ বলিয়া ঋণাত্মক); $f=-18$ cm.

এখন, $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

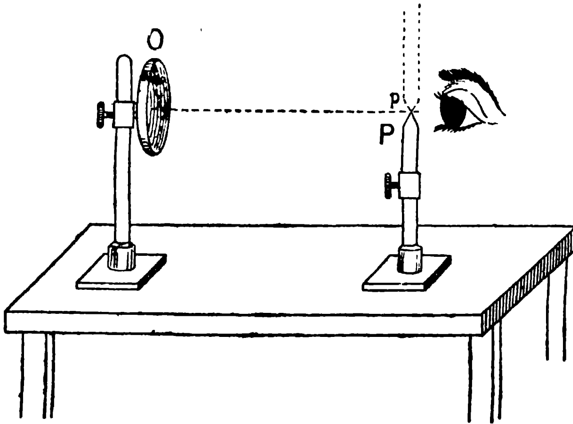
এস্থলে, $-\frac{1}{6}+\frac{1}{u}=-\frac{1}{18}$ এখন, $\frac{1}{u}=\frac{1}{6}-\frac{1}{18}=\frac{2}{18}$ $\therefore$ $u=9$ cm

অর্থাৎ বস্তু দর্পণ হইতে 9 cm. দূরে থাকিবে।

2.19 অবতলের দর্পণের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় (Determination of focal length of a concave mirror) :

(ক) **পিন দ্বারা** (By pins) ঃ আমরা জানি কোন অবতল দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্রে বস্তু রাখিলে উহার প্রতিবিম্বও বক্রতা-কেন্দ্রে গঠিত হয়। এই প্রতিবিম্ব অবশীর্ষ হয়। এই ঘটনাকে অবলম্বন করিয়া পিনের সাহায্যে অবতল দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব সহজে নির্ণয় করা যায়।

একটি অবতল দর্পণকে (চিত্রে O) উপযুক্ত অবলম্বনে আটকাইয়া টেবিলের উপর রাখ [চিত্র 2·32]। একটি পিতলের চকচকে মোটা পিন P এমন উচ্চতায় রাখ যে উহার শীর্ষবিন্দু দর্পণের মধ্যবিন্দুর সহিত এক উচ্চতায় থাকে। এখন পিনটিকে দর্পণ হইতে কিছুদূরে রাখিয়া দর্পণের



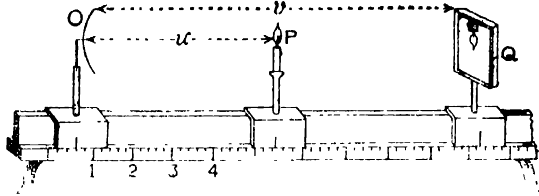
চিত্র 2·32

দিকে দৃষ্টিপাত করিলে পিনের একটি অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। দর্পণ হইতে পিনের দূরত্ব এমনভাবে নির্দিষ্ট করিতে হইবে যে পিনের শীর্ষবিন্দু P এবং অবশীর্ষ প্রতিবিম্বের শীর্ষবিন্দু p ঠিক

মিলিয়া যায় এবং উহাদের মধ্যে কোন দৃষ্টিভ্রম (parallax) না থাকে। এই অবস্থায় দর্পণের মধ্যবিন্দু হইতে পিন পর্যন্ত দূরত্ব স্কেল দিয়া মাপ। এই দূরত্ব দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধের সমান। সুতরাং দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব ইহার অর্ধেক হইবে।

(খ) U–V **পদ্ধতির দ্বারা** (By U–V method)ঃ এই পদ্ধতিতে আলোকীয় বেঞ্চ (optical bench) ব্যবহার করিতে হয়। এইবেঞ্চ পিতল বা কাঠের তৈরী এবং ইহার গায়ে একটি স্কেল লাগানো আছে। বেঞ্চের উপর কয়েকটি উপযুক্ত অবলম্বনের সাহায্যে দর্পণ, কাগজের পর্দা ইত্যাদি বসানো যায় এবং বেঞ্চ বরাবর উহাদের সামনে বা পিছনে সরানো যায়।

ঐরূপ একটি আলোকীয় বেঞ্চের উপর অবতল দর্পণ O রাখ এবং দর্পণ হইতে কিছুদূরে একটি মোমবাতি P রাখ। মোমবাতির শিখার উচ্চতা দর্পণের মধ্যবিন্দুর উচ্চতার সমান কর [চিত্র নং 2·33]। এখন, একখানি সাদা কাগজ পর্দা হিসাবে (Q) ব্যবহার করিয়া অবলম্বনের সাহায্যে আটকাও এবং মোমবাতি হইতে আরো কিছুদূরে স্থাপন কর। দেখিবে পর্দার উপর

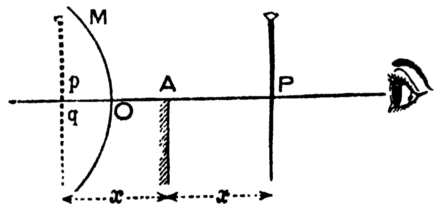


চিত্র 2·33

শিখার একটি অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব পড়িবে। দর্পণ ও শিখার অবস্থান অপরিবর্তিত রাখিয়া পর্দাকে সামনে-পিছনে সরাও যতক্ষণ না প্রতিবিম্ব খুব স্পষ্ট হয়। এখন, আলোকীয় বেঞ্চের স্কেল হইতে দর্পণ ও শিখার ব্যবধান এবং দর্পণ ও কাগজের পর্দার ব্যবধান নির্ণয় কর। প্রথমটি হইল 'u' অর্থাৎ বস্তুদূরত্ব এবং দ্বিতীয়টি হইল 'v' অর্থাৎ প্রতিবিম্ব দূরত্ব। শিখাকে বিভিন্ন স্থানে রাখিয়া এইরূপ কয়েকবার পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করিতে হইবে। অতঃপর $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ সমীকরণ হইতে দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব 'f' নির্ণয় করিতে হইবে।

2·20. উত্তল দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় (Determination of focal length of a convex mirror)ঃ

একটি উত্তল দর্পণকে (MO) খাড়াভাবে টেবিলের উপর রাখ এবং একটি দীর্ঘ, চকচকে পিন P দর্পণের সম্মুখে কিছুদূরে রাখ [চিত্রনং 2·34]। দর্পণের ভিতর দিয়া দেখিলে একটি সমশীর্ষ, ক্ষুদ্রাকার প্রতিবিম্ব p দেখা যাইবে। এখন উত্তল



চিত্র 2·34

দর্পণের নিম্নার্ধ আবৃত করিয়া ঐ দর্পণ এবং লক্ষ্যবস্তু P-এর মধ্যে একখানি সমতল দর্পণ A রাখ। দর্পণ A উহার পশ্চাতে লক্ষ্যবস্তু P-এর একটি প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। এখন, সমতল দর্পণ A সামনে বা পিছনে সরাইয়া এমনভাবে রাখ যে উত্তল দর্পণ কর্তৃক সৃষ্ট প্রতিবিম্ব p এবং সমতল দর্পণ কর্তৃক সৃষ্ট প্রতিবিম্ব q একই উলম্ব রেখা বরাবর স্থাপিত হয় এবং উহাদের মধ্যে কোন দৃষ্টিভ্রম না থাকে। উত্তল দর্পণ হইতে লক্ষ্যবস্তু P-এর দূরত্ব মাপ। ইহা হইবে বস্তু দূরত্ব 'u'

এখন, $AP=Aq=x$ (ধর) অথবা $Pq=2AP=2x$ [কারণ q হইতেছে সমতল দর্পণ কর্তৃক P-এর প্রতিবিম্ব]। $\therefore \quad v=Oq=Pq-OP=2x-u$

সুতরাং উত্তল দর্পণ এবং সমতল দর্পণ হইতে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব মাপিলে 'u' এবং 'v' পাওয়া যাইবে। অতঃপর $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ সমীকরণে 'u' এবং 'v'-এর মান বসাইয়া 'f' নির্ণয় করা যাইবে। হিসাবের সময় 'v'-ক ঋণাত্মক চিহ্ন দিয়া লইতে হইবে।

Exercises

1. আলোর প্রতিফলন কাহাকে বলে? প্রতিফলনের সূত্র কি? কোন বিন্দুপ্রভব হইতে নির্গত আলোকরশ্মি সমতল দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া একটি বিন্দু হইতে অপসৃত হয় তাহা দেখাও। ঐ বিন্দুকে কি বলে? উহার অবস্থান কোথায়? উহার প্রকৃতি কিরূপ?

[*H.S. Exam. 1962; P.U. 1962*]

2. সমতল দর্পণে একটি আলোক রশ্মি $60°$ কোণে আপতিত হইলে প্রতিফলনের পর রশ্মির চ্যুতি কত হইবে? নক্সার সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। [*H.S. Exam. 1961*]

3. ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও কিরূপে সমতল দর্পণ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। প্রমাণ কর যে দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব লক্ষ্যবস্তুর দূরত্বের সমান।

4. দুইটি দর্পণ সমান্তরাল থাকিলে অথবা সমকোণে থাকিলে উহারা কিরূপে প্রতিবিম্বের সৃষ্টি করে তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাও। [*H.S. (Comp) 1961*]

5. দুইটি দর্পণ পরস্পরের সহিত $60°$ কোণে আনত। ঐ কোণের দ্বিখণ্ডক রেখার উপর একটি উজ্জ্বল বস্তুবিন্দু আছে। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কোথায় প্রতিবিম্ব হইবে তাহা চিত্র সহযোগে চিহ্নিত কর ঃ—(i) দুইবার প্রতিফলনে, (ii) তিনবার প্রতিফলনে। মোট কয়টি প্রতিবিম্ব হইবে?

[*H.S. (Comp) 1965*]

6. M_1 এবং M_2 দুইটি সমান্তরাল দর্পণের মধ্যে P একটি বিন্দু প্রভব। M_1 দর্পণ হইতে উহার দূরত্ব 4 সে.মি. এবং M_2 দর্পণের ভিতর দিয়া দৃষ্ট দ্বিতীয় প্রতিবিম্ব M_1 দর্পণ হইতে 22 সে.মি. দূরে অবস্থিত। দর্পণ দুইটির ভিতরকার দূরত্ব নির্ণয় কর।

[Ans 9 সে. মি.]

7. A এবং B দুইটি সমান্তরাল দর্পণের মধ্যে একটি বস্তুবিন্দু রাখা আছে। দর্পণদ্বয়ের দূরত্ব 3 ইঞ্চি এবং বস্তুবিন্দু একটি দর্পণ হইতে 2 ইঞ্চি দূরে। A দর্পণের পশ্চাতে তৃতীয় প্রতিবিম্ব এবং B দর্পণের পশ্চাতে তৃতীয় প্রতিবিম্ব দুইটির ভিতর দূরত্ব কত? [Ans. 18 ইঞ্চি]

8. প্রমাণ কর যে সমতল দর্পণ যে-কোণে আবর্তিত হয়, প্রতিফলিত রশ্মি উহার দ্বিগুণ কোণে আবর্তিত হয়। [*H. S. Exam. 1960 (Comp) 1962, '63*]

9. দুইটি দর্পণ সমকোণে আনত আছে। একটি রশ্মি পর পর দর্পণ দুইটি দ্বারা প্রতিফলিত হইল। প্রমাণ কর যে, মূল রশ্মি ও শেষ প্রতিফলিত রশ্মি পরস্পর সমান্তরাল।

10. নিজ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দৈর্ঘ্যসম্পন্ন দর্পণে কোন ব্যক্তি তাহার পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়, ইহা ছবি আঁকিয়া প্রমাণ কর। [*H.S. (Comp) 1960' 61 H.S. Exam. 1962*]

11. একটি ঘরের মাঝখানে এক ব্যক্তি দণ্ডায়মান। ঐ ব্যক্তির সম্মুখের দেওয়ালে একটি আয়না টাঙানো আছে। আয়নাটির দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইলে ঐ ব্যক্তি আয়নার ভিতর দিয়া পিছনের দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে? দেওয়ালের উচ্চতা 15 ফুট।

[*H. S. Exam. 1964*] [Ans. 5 ফুট]

12. MN একখানি সমতল দর্পণ। AB এবং BC যথাক্রমে দর্পণের উপর আপতিত ও উহার প্রতিফলিত রশ্মি। দর্পণের উপর D যে-কোন বিন্দু। প্রমাণ কর যে, $AB+BC < AD+CD$.

13. (i) কোন ব্যক্তি দর্পণের অভিমুখে 5 ফুট/সেকেণ্ড গতিবেগে দৌড়াইলে সে ও তাহার প্রতিবিম্বের ভিতরকার দূরত্ব কত বেগে কমিবে? (ii) কোন দর্পণ যদি কোন বস্তুর দিকে 2 ফুট/সেকেণ্ড বেগে অগ্রসর হয় তবে প্রমাণ কর যে বস্তুর প্রতিবিম্ব বস্তুর দিকে 4 ফুট/সেকেণ্ড বেগে অগ্রসর হইবে। (iii) একখানি সমতল দর্পণ হাতে লইয়া সম্মুখের বস্তু দেখিতে দেখিতে তুমি ট্রেনে যাইতেছ। খালি চোখে দেখিলে বস্তুগুলি যে বেগে তোমার দিকে পশ্চাৎ হইতে অগ্রসর হইবে দর্পণের ভিতর দিয়া দেখিলে আরো বেশী বেগে অগ্রসর হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। ইহা ব্যাখ্যা কর। [Ans. 10 ফুট/সেকেণ্ড]

14. পরিষ্কার ছবি আঁকিয়া একটি পেরিস্কোপের কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। ইহা কি কাজে ব্যবহৃত হয়? [*H. S. Exam. 1962, 64 ; '66 (Comp.)*]

15. দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত কোন বস্তু যদি স্থান পরিবর্তন করে তবে উহার প্রতিবিম্বও অনুরূপভাবে সমান দূরত্বে সরিয়া যাইবে, প্রমাণ কর। 'ক্যালিডোস্কোপ' সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত নোট লেখ। [*H. S. (Comp) 1962. 66 (Comp.)*]

16. দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের সহিত আনত থাকিয়া একটি বস্তুবিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠন করিল। প্রমাণ কর যে বস্তু-বিন্দু ও প্রতিবিম্বগুলি একটি বৃত্তের পরিধির উপর অবস্থান করে। [*H. S. Exam. 1966*]

4

17. একটি সমতল দর্পণে আলোকরশ্মি এরূপভাবে প্রতিফলিত হইল যে, আপতিত রশ্মি এবং প্রতিফলিত রশ্মির ভিতর 20° কোণ উৎপন্ন হইল। এখন দর্পণকে 15° ঘুরাইলে, আপতিত রশ্মি এবং নতুন প্রতিফলিত রশ্মির ভিতর সম্ভাব্য কোণ কি কি হইতে পারে?

[Ans. 50°; 10°]

18. অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লেখঃ—(ক) ফোকাস (খ) ফোকাস-দৈর্ঘ্য (গ) বক্রতা-ব্যাসার্ধ (ঘ) বক্রতা-কেন্দ্র (ঙ) মধ্যবিন্দু (চ) অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয়।

19. অবতল দর্পণের বেলায় প্রমাণ কর যে $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{2}{r}$

20. নিম্নলিখিত প্রতিবিম্বগুলি পাইতে গেলে কি দর্পণ ব্যবহার করিবে এবং বস্তুকে কোথায় রাখিবে তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাও ঃ—(ক) সদ ও বিবর্ধিত (খ) অসদ ও বিবর্ধিত (গ) সদ ও ক্ষুদ্রতর (ঘ) অসদ ও ক্ষুদ্রতর (ঙ) সদ ও সমান আকারের (চ) অসদ ও সমান আকারের।

21. একটি উত্তল দর্পণের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিবার জন্য তুমি কি পদ্ধতি অবলম্বন করিবে?

22. একটি অবতল দর্পণ অক্ষের উপর তিনগুণ বিবর্ধিত সমশীর্ষ একটি প্রতিবিম্ব বস্তু হইতে 24cm. দূরে গঠন করিল। দর্পণের ফোকাসদূরত্ব কত? [Ans. 9cm.]

23. কোন বস্তুবিন্দু হইতে একগুচ্ছ অভিসারী রশ্মি কোন দর্পণ হইতে 30cm. পশ্চাতে মিলিত হইত। কিন্তু দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত হইবার পর দর্পণের সম্মুখের 15cm. দূরে মিলিত হইল। দর্পণটি অবতল কি উত্তল এবং উহার ফোকাস-দৈর্ঘ্য কত তাহা নির্ণয় কর।

[Ans. অবতল, 30cm]

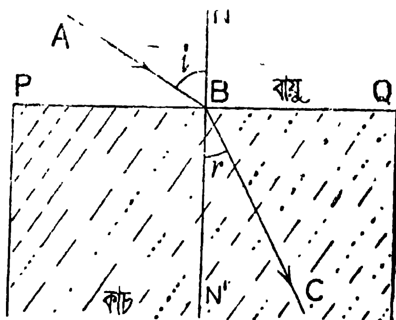
24. 15cm. দীর্ঘ একটি তীর একখানি অবতল দর্পণের অক্ষ বরাবর স্থাপিত আছে। উহার তীক্ষ্ণ প্রান্ত দর্পণ হইতে 30cm. দূরে এবং দর্পণটির বক্রতা-ব্যাসার্ধ 20cm; তীরটির প্রতিবিম্বের বিবর্ধন নির্ণয় কর। [Ans. 0·143]

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

সমতলে আলোকের প্রতিসরণ
(Refraction of light at a plane surface)

3·1. **আলোকের প্রতিসরণ** ঃ একটি জলপূর্ণ পাত্রের তলদেশে দৃষ্টিপাত করিলে মনে হয় জল তত গভীর নয়। তেমনি একটি লাঠি খানিকটা জলে ডুবাইলে মনে হয় যেন লাঠি যেখানে জল স্পর্শ করিয়াছে সেখান হইতে লাঠিটা বাঁকা। ইহা হইতে বোঝা যায়, আলোকরশ্মি জলে যে-সরলরেখায় চলে জল হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিলে অন্য সরল রেখায় চলে। অর্থাৎ, **এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে প্রবেশ করিলে আলো গতির অভিমুখ পরিবর্তন করে।** আলোকরশ্মির গতির অভিমুখের এই পরিবর্তনকে **প্রতিসরণ** (refraction) বলে।

ধরা যাউক, একটি আলোকরশ্মি বায়ুমাধ্যমে AB সরল রেখায় আসিয়া একটি কাচের ফলকের উপর তির্যকভাবে আপতিত হইল (3·1 নং চিত্র)। আলোকরশ্মি এইবার কাচের ভিতর প্রবেশ করিবে। কিন্তু কাচের ভিতর রশ্মি যে-সরলরেখায় যাইবে তাহা AB হইতে ভিন্ন—কারণ, B বিন্দুতে আলোকের প্রতিসরণ হইবে। ধরা যাউক, কাচের ভিতর আলোকরশ্মি BC সরলরেখায় গমন করিল। এস্থলে **AB আপতিত রশ্মি, BC প্রতিসৃত রশ্মি, B আপতন-বিন্দু** (point of incidence) এবং PQ দুই মাধ্যমের বিভাগ তলের ছেদ রেখা (line of section)। যদি B বিন্দু দিয়া PQ রেখার উপর লম্ব (NBN′) টানা যায় তবে উহাকে আপতন বিন্দুতে বিভাগ-তলের উপর **অভিলম্ব** বলা হয়। আপতিত রশ্মি AB অভিলম্ব BN-এর সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (অর্থাৎ $\angle$ABN) তাহাকে **আপতন কোণ** বলে এবং প্রতিসৃত রশ্মি BC উক্ত অভিলম্বের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে (অর্থাৎ, $\angle$CBN′) তাহাকে **প্রতিসরণ কোণ** বলে।

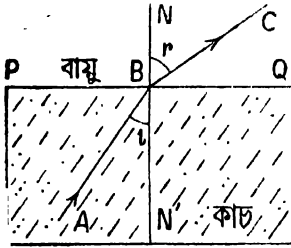


চিত্র 3·1

দেখা গিয়াছে, আলোকরশ্মি যখন লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় (যেমন বায়ু হইতে কাচে) তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায় অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা ছোট হয় (3·1 নং চিত্র)।

কিন্তু যদি আলোকরশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় (যেমন, কাচ হইতে

বায়ুতে) তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায় অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বড় হয় (3·2 চিত্র)।



চিত্র 3·2

3·2. **প্রতিসরণের সূত্র (Laws of refraction)**: এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে যাইবার সময়ে আলোক রশ্মির যে প্রতিসরণ হয় তাহা নিম্নলিখিত সূত্রানুযায়ী হইয়া থাকে।

(1) আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে দুই মাধ্যমের বিভেদ-তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি সর্বদা এক সমতলে থাকে এবং আপতিত রশ্মি ও প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের বিপরীত দিকে থাকে।

(The incident ray, the refracted ray and the normal to the surface of separation of the two media at the point of incidence lie in one plane and the incident and the refracted rays are on opposite sides of the normal.)

(2) আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক হয় এবং এই ধ্রুবকের মান দুই মাধ্যমের প্রকৃতি ও আলোকের বর্ণের উপর নির্ভর করে।

(The ratio of the sine of the angle of incidence to the sine of the angle of refraction is a constant and it depends upon the nature of the media and the colour of light used).

অর্থাৎ, যদি আপতন কোণকে i এবং প্রতিসরণ কোণকে r বলা হয়, তবে উপরোক্ত সূত্রানুসারে

$\frac{\sin i}{\sin r} = \mu$ (উচ্চারণ 'মিউ') = ধ্রুবক।

এই ধ্রুবক 'μ' কে বলা হয় প্রথম মাধ্যমের (অর্থাৎ, যে-মাধ্যম হইতে রশ্মি আগমন করে) সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের (অর্থাৎ, যে-মাধ্যমে রশ্মি প্রতিসৃত হয়) **প্রতিসরাঙ্ক** (refractive index)। উদাহরণস্বরূপ বলা যাইতে পারে, যখন আলোকরশ্মি বায়ু মাধ্যম হইতে আসিয়া কাচ মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন উক্ত কোণ দুইটির সাইনের অনুপাত 1·51 অর্থাৎ বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·51.

প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রকে **স্নেল-সূত্র** (Snell's law)-ও বলা হয়, কারণ, এই সূত্রটি ডাঃ এডওয়ার্ড স্নেল আবিষ্কার করেন।

উপরোক্ত সূত্র হইতে আমরা লিখিতে পারি যে, যখন $i=0$ তখন $r=0$; অর্থাৎ, কোন রশ্মি অভিলম্বভাবে কোন মাধ্যমে আপতিত হইলে, প্রতিসরণের ফলে রশ্মি অভিলম্বভাবে ঐ মাধ্যমের ভিতর দিয়া অগ্রসর হইবে; উহার কোন দিক পরিবর্তন হইবে না।

3.3. **আপেক্ষিক ও পরম প্রতিসরাঙ্ক** (Relative and absolute refractive index) :

সংজ্ঞা ঃ যখন কোন আলোকরশ্মি 'a' মাধ্যম হইতে আসিয়া 'b' মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে 'a' মাধ্যমের সাপেক্ষে 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলা হয়। ইহাকে ${}_{a}\mu_{b}$ এইভাবে লেখা হয়। অর্থাৎ,

$${}_{a}\mu_{b}=\frac{\sin i}{\sin r}$$ [i=আপতন কোণ ও r=প্রতিসরণ কোণ]

এই প্রতিসরাঙ্ককে **আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক** বলে।

যেহেতু, আলোর গতিপথ প্রত্যাবর্তনশীল (reversible), কাজেই কোন রশ্মি যদি 'b' মাধ্যম হইতে আসিয়া বিভাগতলে r কোণে আপতিত হয় তবে 'a' মাধ্যমে প্রতিসৃত হইবার সময় প্রতিসরণ কোণ i হইবে। এই অবস্থায় ${}_{b}\mu_{a}=\frac{\sin r}{\sin i}$.

সুতরাং $${}_{a}\mu_{b}\times{}_{b}\mu_{a}=\frac{\sin i}{\sin r}\times\frac{\sin r}{\sin i}=1$$ অথবা, $${}_{a}\mu_{b}=\frac{1}{{}_{b}\mu_{a}}$$

যেমন, বায়ু মাধ্যমের সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$; অতএব, কাচ মাধ্যমের সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক $\frac{2}{3}$.

সংজ্ঞা ঃ যখন কোন আলোকরশ্মি শূন্য (vacuum) হইতে আসিয়া অন্য কোন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়, তখনকার প্রতিসরাঙ্ককে ঐ মাধ্যমের **পরম প্রতিসরাঙ্ক** বলে।

সাধারণভাবে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিলে বুঝিতে হইবে যে, আলোকরশ্মি বায়ু হইতে আসিয়া উক্ত মাধ্যমে প্রতিসৃত হইয়াছে। যেমন কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 বলিলে বুঝিতে হইবে যে বায়ু মাধ্যমে রশ্মি আসিয়া যে আপতন কোণ সৃষ্টি করিবে ও কাচের মধ্যে প্রতিসৃত হইয়া যে প্রতিসরণ কোণ উৎপন্ন করিবে উহাদের সাইনের অনুপাত 1·5.

কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোকের বর্ণের (colour of light) উপর নির্ভর করে একথা পূর্বেই বলা হইয়াছে। যেমন, লালবর্ণের আলোকের বেলাতে কোন মাধ্যমের প্রতি-সরাঙ্ক যাহা হইবে, সবুজ, নীল ও বেগুনি বর্ণের আলোকের বেলাতে তাহা অপেক্ষা বেশী হইবে। আর, প্রতিসরাঙ্ক বেশী হইলে সেই মাধ্যমকে বলা হয় আলোক সাপেক্ষে ঘন মাধ্যম। **মাধ্যমের এই ঘনত্বের সহিত উহার প্রাকৃতিক ঘনত্ব** (physical density) বা **আপেক্ষিক গুরুত্বের কোন সম্পর্ক নাই।** যেমন, প্রাকৃতিক ঘনত্ব হিসাবে তার্পিন তেল জল অপেক্ষা লঘু (তার্পিনের আ. গু.=0·87) কিন্তু আলোক সাপেক্ষে তার্পিন তেল জল অপেক্ষা ঘন (তার্পিনের প্রতিসরাঙ্ক=1·47)। সুতরাং একথা মনে রাখিতে হইবে, কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বেশী হইলে উহা আলোক সাপেক্ষে বেশী ঘন নাও হইতে পারে।

3·4 **প্রতিসরাঙ্কের সহিত আলোকের গতিবেগের সম্পর্ক ঃ**

প্রতিসরাঙ্কের একটি গুরুত্বপূর্ণ তাৎপর্য আছে। আলোকের তরঙ্গতত্ত্ব (wave

theory of light) হইতে প্রমাণ করা যায় যে, কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ হইলে,

$$\mu = \frac{\text{শূন্যে আলোকের গতিবেগ}}{\text{ঐ মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ}}$$

এখন যদি দুইটি মাধ্যম 'a' এবং 'b' লওয়া যায় এবং 'a' মাধ্যমের সাপেক্ষে 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $_a\mu_b$ হয় তবে, $_a\mu_b = \dfrac{\text{'}a\text{' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ}}{\text{'}b\text{' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ}}$

যদি 'b' মাধ্যম 'a' মাধ্যম অপেক্ষা ঘন হয় তবে $_a\mu_b > 1$ এবং সেক্ষেত্রে 'b' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ 'a' মাধ্যম অপেক্ষা কম। সুতরাং **ঘনতর মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ লঘুতর মাধ্যম অপেক্ষা কম।**

তাছাড়া, উপরোক্ত সম্পর্ক হইতে এক মাধ্যম হইতে অপর মাধ্যমে আলোকরশ্মি প্রবেশ করিলে কেন রশ্মির গতিপথের পরিবর্তন হয় তাহার কারণ আমরা বুঝিতে পারি।

(i) যদি উভয় মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ সমান হয় তবে $_a\mu_b = 1$ অথবা $\sin i = \sin r$ অথবা $i = r$; এক্ষেত্রে রশ্মির গতিপথের কোন পরিবর্তন হয় না। সুতরাং আলোকরশ্মির কোন প্রতিসরণ হইবে না।

(ii) যদি 'b' মাধ্যমে গতিবেগ কম হয়, অর্থাৎ 'b' মাধ্যম ঘনতর হয় তবে $_a\mu_b > 1$, অথবা $\sin i > \sin r$ অথবা $i > r$; এক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা কম হওয়ায় আলোকরশ্মি গতিপথ পরিবর্তন করিয়া অভিলম্বের দিকে ঘেঁষিয়া যাইবে।

(iii) যদি 'b' মাধ্যমে গতিবেগ বেশী হয়, অর্থাৎ 'b' মাধ্যম লঘুতর হয় তবে $_a\mu_b < 1$ অথবা $\sin i < \sin r$, অথবা $i < r$; এক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বেশী হওয়ায় আলোকরশ্মি গতিপথ পরিবর্তন করিয়া অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে।

উপরোক্ত ফলাফল পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণিত হইয়াছে। সুতরাং একথা নিঃসন্দেহে বলা যাইতে পারে যে বিভিন্ন মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ বিভিন্ন হওয়ায় এক মাধ্যম হইতে অপর মাধ্যমে আলোকরশ্মি প্রবেশ করিলে রশ্মির প্রতিসরণ হয়।

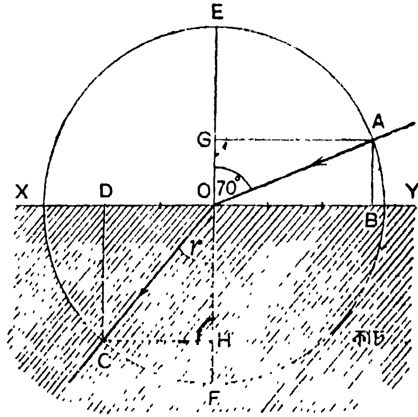
কয়েকটি পদার্থের প্রতিসরাঙ্কের তালিকা

কঠিন পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক	তরল পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক
ক্রাউন কাচ	1·5	জল	1·33
ফ্লিন্ট কাচ	1.62	গ্লিসারিন	1·47
হীরা	2.6	তাপিন তেল	1·47
বরফ	1.31	অ্যালকোহল	1·37

3·5. **জ্যামিতিক পদ্ধতিতে প্রতিসৃত রশ্মি অঙ্কন** (Geometrical construction of refracted ray) ঃ

ধরা যাউক, একটি আলোকরশ্মি 70° আপতন কোণে একটি কাচের ব্লকের উপর আসিয়া পড়িয়াছে। উহার প্রতিসৃত রশ্মি জ্যামিতিক অঙ্কনের সাহায্যে নির্ণয় করিতে হইবে। বলা আছে যে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$.

ধর, XY কাচের ব্লকের উপরতল (3·3 নং চিত্র)। ব্লকের মধ্যস্থলে O একটি বিন্দু লও এবং XY রেখার সহিত সমকোণ করিয়া EOF লম্ব টান। OE রেখার সহিত 70° কোণ করিয়া AO রেখা টান। AO আপতিত রশ্মি বুঝাইবে। O হইতে ডানদিকে OY বরাবর তিনটি সমান অংশ লও যাহার সর্বশেষ ভাগের প্রান্ত বিন্দু হইল B এবং বাঁদিকে ঐরূপ সমান দুইটি অংশ লও যাহার প্রান্ত বিন্দু হইল D; B হইতে আপতিত রশ্মির উপর BA রেখা টান যাহাতে ঐ রেখা XY রেখার লম্ব হয়। O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া এবং OA ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত অঙ্কন কর। D বিন্দু দিয়া XY রেখার উপর DC লম্ব টান যাহাতে ঐ লম্ব পূর্বোক্ত বৃত্তকে C বিন্দুতে ছেদ করে। এখন OC সরলরেখা টানিলে উহাই হইবে প্রতিসৃত রশ্মি।



চিত্র 3·3

OC রেখা যে প্রকৃত প্রতিসৃত রশ্মি তাহা প্রমাণ করিতে হইলে A এবং C বিন্দু হইতে EOF সরলরেখার উপর যথাক্রমে AG এবং CH লম্ব টান। আমরা যদি প্রমাণ করিতে পারি, $\frac{\sin 70^\circ}{\sin r}=\frac{3}{2}$ তাহা হইলে OC প্রতিসৃত রশ্মি বুঝাইবে।

এখন, $\sin 70^\circ=\frac{AG}{AO}$ এবং $\sin r=\frac{CH}{CO}$

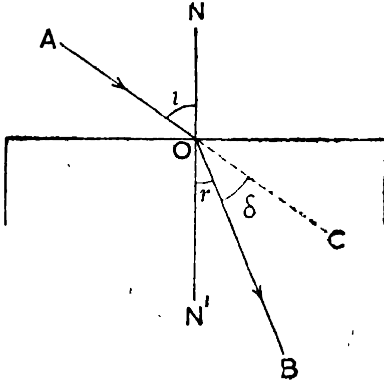
$$\therefore \quad \frac{\sin 70^\circ}{\sin r}=\frac{AG}{AO}\Big/\frac{CH}{CO}=\frac{AG}{CH} \qquad \text{[কারণ } AO=CO\text{]}$$

কিন্তু AG=OB এবং CH=OD

অর্থাৎ, $\frac{AG}{CH}=\frac{OB}{OD}=\frac{3}{2}$ (অঙ্কন অনুযায়ী); সুতরাং $\frac{\sin 70^\circ}{\sin r}=\frac{3}{2}$

কিন্তু কাচের প্রতিসরাঙ্ক $=\frac{3}{2}$, কাজেই AO আপতিত রশ্মির প্রতিসৃত রশ্মি হইবে OC.

3·6. প্রতিসরণের দরুন আলোক রশ্মির চ্যুতি (Deviation of a ray due to refraction) ঃ এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে প্রতিসৃত হইবার সময় আলোক-রশ্মির পথের চ্যুতি (deviation) হয়। আপতিত রশ্মির অভিমুখ ও প্রতিসৃত রশ্মির অভিমুখের ভিতর যে-কোণ উৎপন্ন হয় তাহাই রশ্মির চ্যুতির পরিমাপ।



চিত্র 3·4

মনে কর, AO একটি আপতিত রশ্মি এবং OB উহার প্রতিসৃত রশ্মি। $\angle AON = i =$ আপতন কোণ ও $\angle N'OB = r =$ প্রতিসরণ কোণ; AO-কে বর্ধিত করিয়া AOC রেখা টান। আপতিত রশ্মির অভিমুখ AOC; কিন্তু প্রতিসৃত রশ্মির অভিমুখ OB; সুতরাং প্রতিসরণের দরুন রশ্মির চ্যুতি $(\delta) = \angle BOC$ [3·4 চিত্র]।

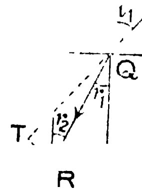
এখন, $\delta = \angle BOC = \angle N'OC - \angle N'OB = \angle NOA - \angle N'OB$

$$= i - r \quad [\because \angle NOA = \angle N'OC]$$

যদি রশ্মি লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তবে $i > r$, সেক্ষেত্রে, $\delta = i - r$, কিন্তু যদি রশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়, তবে $r > i$ এবং সেক্ষেত্রে $\delta = r - i$.

3·7. সমান্তরাল ফলকের মধ্য দিয়া আলোকরশ্মির প্রতিসরণ (Refraction of a ray of light through a parallel block) ঃ

সমান্তরাল তলবিশিষ্ট ফলককে সমান্তরাল ফলক বলা হয়। মনে কর, ABCD একটি কাচের সমান্তরাল ফলক এবং PQ একটি রশ্মি i_1 আপতন কোণে AB তলে আপতিত হইয়াছে। রশ্মির কাচের ভিতর প্রবেশ করিবার সময় প্রতিসৃত হইবে এবং মনে কর, r_1 প্রতি-সরণ কোণে QR বরাবর গিয়া ফলকের অপর তল CD-তে আপতিত হইল। রশ্মি এইবার কাচ হইতে বায়ুতে নির্গত হইবার সময় পুনরায় প্রতিসৃত হইবে। ধর, রশ্মির নির্গমন কোণ $= i_2$; এক্ষেত্রে প্রমাণ করা যায়, **আপতিত রশ্মি PQ এবং নির্গম রশ্মি RS পরস্পরের সমান্তরাল।**



3·5

প্রমাণ ঃ বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $_a\mu_g$ ধরিলে, আমরা লিখিতে পারি,

$$_a\mu_g = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$$

আবার, কাচ সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক $_g\mu_a$ হইলে, R বিন্দুতে প্রতিসরণ অনুযায়ী

$$_g\mu_a = \frac{\sin r_2}{\sin i_2}$$, কিন্তু আমরা জানি, $$_a\mu_g = \frac{1}{_g\mu_a}$$

সুতরা $$\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{1}{\frac{\sin r_2}{\sin i_2}} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$$

এখন, চিত্র হইতে সহজে বোঝা যায় যে $\angle r_1 = \angle r_2$; কাজেই $\sin r_1 = \sin r_2$ এবং সেইহেতু $\sin i_1 = \sin i_2$; অতএব $i_1 = i_2$

অর্থাৎ আপতিত রশ্মি PQ এবং নির্গম রশ্মি RS পরস্পরের সমান্তরাল।

পার্শ্ব-সরণ ঃ এস্থলে একটি লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে PQ এবং RS পরস্পরের সমান্তরাল বটে কিন্তু একই সরলরেখায় অবস্থিত নয়; অর্থাৎ ফলকের ভিতর দিয়া প্রতিসরণের ফলে রশ্মির কিছু **পার্শ্ব-সরণ** (lateral displacement) ঘটে (3·5 নং চিত্র)। PQ এবং RS এই দুই সমান্তরাল রশ্মির ভিতর দূরত্ব পার্শ্ব-সরণের পরিমাপ। PQ বর্ধিত করিয়া R হইতে RT লম্ব টান। এক্ষেত্রে RT পার্শ্ব-সরণের মান নির্দেশ করিতেছে।

এখন, $$\sin RQT = \frac{RT}{QR} \quad \therefore \quad RT = QR \sin RQT = QR \sin (i_1 - r_1)$$

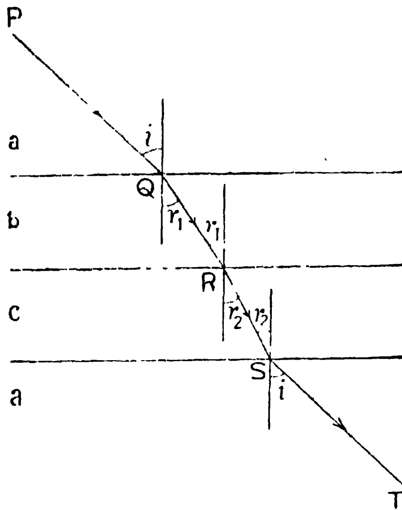
আবার, $$\cos r_1 = \frac{t}{QR} \quad \therefore \quad QR = \frac{t}{\cos. r_1}$$ [t = ফলকের বেধ = AD]

সুতরাং $$RT = t. \frac{\sin (i_1 - r_1)}{\cos r_1}$$

ফলকের বেধ (t), আপতন কোণ ($\angle i_1$) এবং ফলকের প্রতিসরাঙ্ক (μ) জানা থাকিলে (i_1 এবং μ জানা থাকিলে r_1 নির্ণয় করা যায়) রশ্মির পার্শ্বসরণ নির্ণয় করা যায়। অপর পক্ষে একথাও বলা যায় যে পার্শ্ব-সরণ (i) ফলকের বেধ, (ii) আপতন কোণ এবং (iii) ফলকের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে।

3·8. পর পর রক্ষিত ক্রমবর্ধমান ঘনত্বের কয়েকটি সমান্তরাল মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলোকের প্রতিসরণ (Refraction of light through a number of parallel media of increasing density) :

ধর, a, b, c প্রভৃতি কয়েকটি সমান্তরাল মাধ্যম ক্রমবর্ধমান ঘনত্ব অনুসারে সজ্জিত—অর্থাৎ a অপেক্ষা b বেশী ঘন এবং b অপেক্ষা c আরো ঘন, ইত্যাদি। কিন্তু প্রথম ও শেষ মাধ্যম এক। এই ধরণের পাতে (slab) আলোকরশ্মি আসিয়া পড়িলে এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে ক্রমাগত প্রতিসৃত হইয়া অবশেষে রশ্মি প্রথম মাধ্যমে নির্গত হইবে। পরীক্ষার ফলে দেখা গিয়াছে এইরূপ প্রতিসরণের ফলে আপতিত রশ্মি ও নির্গম (emergent) রশ্মি পরস্পর সমান্তরাল হয়। যদি PQ আপতিত রশ্মি ও ST নির্গম রশ্মি হয় তবে উহারা পরস্পর সমান্তরাল হইবে [চিত্র 3·6]।



চিত্র 3·6

এখন, Q বিন্দুতে প্রতিসরণের ফলে আমরা লিখিতে পারি, $\dfrac{\sin i}{\sin r_1} = {}_a\mu_b$

তেমনি R ও S বিন্দুতে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে $\dfrac{\sin r_1}{\sin r_2} = {}_b\mu_c$ এবং $\dfrac{\sin r_2}{\sin i} = {}_c\mu_a$

ইহাদের গুণ করিলে পাই, ${}_a\mu_b \times {}_b\mu_c \times {}_c\mu_a = \dfrac{\sin i}{\sin r_1} \times \dfrac{\sin r_1}{\sin r_2} \times \dfrac{\sin r_2}{\sin i} = 1$

উপরোক্ত ফল শুধু a, b, c তিনটি মাধ্যম নয়—যে-কোন সংখ্যার সমান্তরাল মাধ্যম থাকিলেই হইবে—শুধু প্রথম ও শেষ মাধ্যম এক হইতে হইবে। 'n' সংখ্যক মাধ্যমের বেলায় লেখা যায়, ${}_a\mu_b \times {}_b\mu_c \times {}_c\mu_d \times \ldots \times {}_n\mu_a = 1$

যদি 'a' মাধ্যমকে বায়ু ধরা হয় তবে পূর্বোক্ত সমীকরণ হইতে আমরা লিখিতে পারি

$$\text{air}\,\mu_b \times {}_b\mu_c \times {}_c\mu\,\text{air} = 1$$

$$\therefore \quad {}_b\mu_c = \frac{1}{\text{air}\,\mu_b \times {}_c\mu\,\text{air}} = \frac{\text{air}\,\mu_c}{\text{air}\,\mu_b} = \frac{\text{'}c\text{' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক}}{\text{'}b\text{'} \quad ,, \quad ,,}$$

Examples : (1) বায়ুর তুলনায় জলের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$ এবং বায়ুর তুলনায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$ হইলে জলের তুলনায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক কত হইবে?

উ। আমরা জানি, ${}_w\mu_g = \dfrac{\text{air}\,\mu_g}{\text{air}\,\mu_w} = \dfrac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} = \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \underline{\frac{9}{8}}$

(2) কাচের তুলনায় গ্লিসারিনের প্রতিসরাঙ্ক 0·98 এবং বায়ুর তুলনায় গ্লিসারিনের প্রতিসরাঙ্ক 1·47; বায়ুর তুলনায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক এবং কাচের তুলনায় বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

উ। আমরা জানি, $_{glass}\mu_{gly} = \frac{_{air}\mu_{gly}}{_{air}\mu_{glass}}$ $\therefore$ $0·98 = \frac{1·47}{_{air}\mu_{glass}}$

বা, $_{air}\mu_{glass} = \frac{1·47}{0·98} = 1·5$

আবার, $_{glass}\mu_{air} = \frac{1}{_{air}\mu_{glass}} = \frac{1}{1·5} = \underline{0·66}$

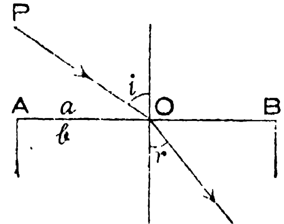
3·9. স্নেল সূত্রের সাধারণ রূপ (General form of Snell's law):

মনে কর AB হইল 'a' এবং 'b' দুইটি মাধ্যমের বিভেদ-তল। 'a' মাধ্যম অপেক্ষা 'b' মাধ্যম বেশী ঘন। একটি রশ্মি PO বিভেদ-তলে O বিন্দুতে আপতিত হইয়া OQ পথে প্রতিসৃত হইল। আপতন কোণ $\angle i$ এবং প্রতিসরণ কোণ $\angle r$ হইলে স্নেল সূত্রানুযায়ী আমরা জানি, $\frac{\sin i}{\sin r} = {}_a\mu_b$

কিন্তু 3·8 অনুচ্ছেদ আমরা দেখিয়াছি, ${}_a\mu_b = \frac{_{air}\mu_b}{_{air}\mu_a}$ $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{_{air}\mu_b}{_{air}\mu_a}$

এখন যদি আমরা সাধারণভাবে 'a' এবং 'b' মাধ্যমকে 1নং এবং 2নং বলি এবং উহাদের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে μ_1 এবং μ_2 বলি, তাহা হইলে,

$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$ অথবা $\mu_1 \sin i = \mu_2 \sin r$; n সংখ্যক মাধ্যমের বেলায় লেখা যায় $\mu_1 \sin i_1 = \mu_2 \sin r_2 = \mu_3 \sin r_3 \ldots = \mu_n \sin r_n$ এই সমীকরণকে স্নেল সূত্রের সাধারণ রূপ হিসাবে গণ্য করা হয়।

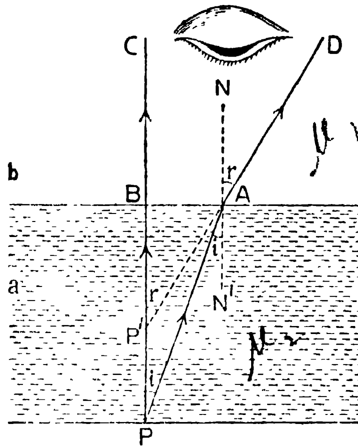


চিত্র 3·7

3·10. সমতলে আলোকের প্রতিসরণ কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন (Formation of image by refraction at a plane surface):

লক্ষ্যবস্তু হইতে নির্গত আলোকরশ্মি সমতলে প্রতিসৃত হইবার পর যখন বাঁকিয়া চোখে পৌঁছায়, তখন মনে হয় ঐ প্রতিসৃত রশ্মিগুলি অন্য কোন বিন্দু হইতে আসিতেছে। ঐ বিন্দুকে বস্তু-বিন্দুর প্রতিবিম্ব বলা হইবে। লক্ষ্যবস্তু ঘন মাধ্যমে থাকিলে এবং চোখ লঘু মাধ্যমে রাখিলে মনে হইবে লক্ষ্যবস্তু খানিকটা উপরে উঠিয়া আসিয়াছে এবং লক্ষ্যবস্তু লঘু মাধ্যমে ও চোখ ঘন মাধ্যমে রাখিলে মনে হইবে ঐ বস্তু খানিকটা দূরে সরিয়া গিয়াছে। নিম্নে এই দুই পদ্ধতির আলোচনা করা হইল। এস্থলে একটি কথা সর্বদা মনে রাখিতে হইবে যে দর্শক উপর হইতে

সোজাসুজি নীচের দিকে তাকাইবে অর্থাৎ লক্ষ্যবস্তু হইতে নির্গত রশ্মিগুলি খুব তির্যকভাবে বিভাগ-তলে আপতিত হইলে সেগুলি বিবেচনা করা যাইবে না—কারণ, প্রতিসরণের পর ঐ রশ্মি-গুলি দূরে বাঁকিয়া যাইবে এবং চোখে পৌঁছাইবে না।



চিত্র 3·8

(ক) লক্ষ্যবস্তু ঘন মাধ্যমে ও চোখ লঘু মাধ্যমে ঃ

'a' মাধ্যমে অবস্থিত P একটি বস্তু। P হইতে একটি রশ্মি PB অভিলম্বভাবে প্রতিসরণ তল AB-র উপরে আপতিত হইল (3·8 নং চিত্র)। সুতরাং ঐ রশ্মি 'b' মাধ্যমে সোজা-সুজি BC পথে চলিয়া যাইবে। আর একটি রশ্মি PA একটু তির্যকভাবে A বিন্দুতে আপতিত হইয়া AD পথে প্রতিসৃত হইল। প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব AN হইতে দূরে সরিয়া যাইবে। এই দুইটি প্রতিসৃত রশ্মি BC ও AD—পশ্চাতে বর্ধিত করিলে P' বিন্দুতে ছেদ করে। সুতরাং প্রতিসৃত রশ্মিদ্বয় চোখে পৌঁছাইলে মনে হইবে P বিন্দু P' বিন্দুতে অবস্থিত। P' বিন্দু হইল P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এস্থলে প্রতিবিম্ব প্রতিসরণ তলের দিকে উঠিয়া আসিয়াছে।

এখন 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ_1 এবং 'a' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ_2 ধরিলে, স্নেল সূত্রের সাধারণ রূপ অনুযায়ী আমরা লিখিতে পারি, $\dfrac{\mu_1}{\mu_2}=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\sin PAN'}{\sin DAN}$

কিন্তু $\angle PAN'=\angle APB$ এবং $\angle DAN=\angle P'AN'=\angle AP'B$

সুতরাং $\dfrac{\mu_1}{\mu_2}=\dfrac{\sin APB}{\sin AP'B}=\dfrac{AB}{AP}\Big/\dfrac{AB}{AP'}=\dfrac{AP'}{AP}$

যেহেতু, A বিন্দু B বিন্দুর খুব নিকটবর্তী (PA রশ্মি খুব বেশী তির্যক নহে) কাজেই, $AP'=BP'$ এবং $AP=BP$.

অতএব, $\dfrac{\mu_1}{\mu_2}=\dfrac{BP'}{BP}$; এখন, যদি $\mu_1=1$ (অর্থাৎ 'b' মাধ্যমের পরিবর্তে বায়ু) এবং $\mu_2=\mu$ হয়, তবে, $\mu=\dfrac{BP}{BP'}=\dfrac{\text{লক্ষ্যবস্তুর প্রকৃত গভীরতা}}{\text{,, আপাত ,,}}$

বায়ু সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক প্রায় $\frac{4}{3}$; 3·8 নং চিত্রে BP যদি কোন জলাশয়ের প্রকৃত

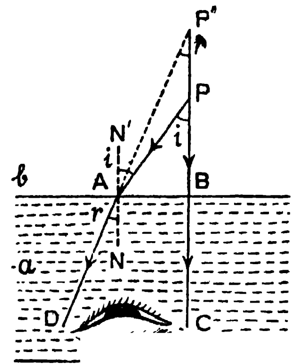
গভীরতা বুঝায় তাহা হইলে জলাশয়ের আপাত গভীরতা হইবে BP′, এক্ষেত্রে জলাশয়ের তলায় কোন বস্তু থাকিলে উহার যে সরণ হইবে তাহা

$$=PP'=BP-BP'=BP\left(1-\frac{1}{\mu}\right)=BP\left(1-\frac{3}{4}\right)=\frac{1}{4}BP,$$

জলাশয়ের তলায় অবস্থিত কোন বস্তুর প্রতি লম্বভাবে দৃষ্টিপাত করিলে, উহার প্রকৃত গভীরতার এক-চতুর্থাংশ উপরে ঐ বস্তু আছে বলিয়া মনে হইবে।

(খ) লক্ষ্যবস্তু লঘু মাধ্যমে ও চোখ ঘন মাধ্যমে ঃ

'b' লঘু মাধ্যমে P একটি বস্তু। P হইতে দুইটি রশ্মি—PB ও PA—প্রতিসরণ তল AB কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া ঘন মাধ্যম 'a'-তে প্রবেশ করে এবং যখন চোখে পৌঁছায় তখন মনে হয় রশ্মিদ্বয় P′ বিন্দু হইতে নির্গত হইতেছে। P′ বিন্দু P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এস্থলে প্রতিবিম্ব প্রতিসরণতল হইতে দূরে সরিয়া গিয়াছে (3·9 নং চিত্র)।



চিত্র 3·9

এখানে, $\dfrac{\mu_2}{\mu_1}=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\sin PAN'}{\sin DAN}$

কিন্তু $\angle PAN'=\angle APB$ এবং $\angle DAN=\angle P'AN'=\angle AP'B$

সুতরাং $\dfrac{\mu_2}{\mu_1}=\dfrac{\sin APB}{\sin AP'B}=\dfrac{AB}{AP}\bigg|\dfrac{AB}{AP'}=\dfrac{AP'}{AP}$

কিন্তু A বিন্দু B বিন্দুর খুব নিকটবর্তী হওয়ায় AP′=BP′ এবং AP=BP,

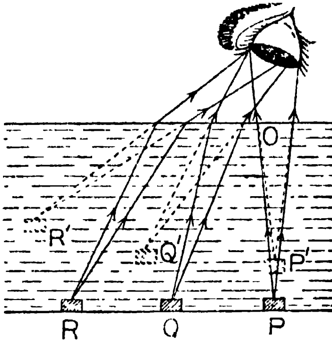
কাজেই, $\dfrac{\mu_2}{\mu_1}=\dfrac{BP'}{BP}=\dfrac{\text{লক্ষ্যবস্তুর আপাত উচ্চতা}}{\text{,, প্রকৃত ,,}}$

এখন পূর্বের ন্যায় $\mu_1=1$ এবং $\mu_2=\mu$ হইলে, $\mu=\dfrac{BP'}{BP}=\dfrac{\text{লক্ষ্যবস্তুর আপাত উচ্চতা}}{\text{,, প্রকৃত ,,}}$

একটি প্রয়োজনীয় তথ্য ঃ লক্ষ্যবস্তু ঘন মাধ্যমে রাখিয়া লঘু মাধ্যম হইতে তির্যক-ভাবে লক্ষ্যবস্তুর প্রতি দৃষ্টিপাত করিলে, প্রতিবিম্বের অবস্থান পরিবর্তন করিবে। দৃষ্টিরেখা যত তির্যক হইবে লক্ষ্যবস্তু তত দর্শকের দিকে অগ্রসর হইবে এবং তত উপরের দিকে উঠিয়া আসিবে।

মনে কর, একটি জলাশয়ের তলায় P,Q,R প্রভৃতি কয়েকটি বস্তু রাখা আছে [চিত্র 3·10]। দর্শক যদি লম্বভাবে P-এর দিকে দৃষ্টিপাত করে তবে উহাকে দর্শক প্রায় উহার নিজস্ব অবস্থানে দেখিবে—P-এর অবস্থান হইবে সামান্য একটু উঁচুতে P′ অবস্থানে। কিন্তু চোখ ঐ স্থানে রাখিয়া দর্শক যদি Q এবং R লক্ষ্যবস্তুকে দেখিতে চেষ্টা করে তবে ঐ

বস্তু হইতে আলোকরশ্মি তির্যকভাবে জলতলে পড়িবে এবং বাঁকিয়া চোখে পৌঁছাইবে। ফলে Q লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব Q′ অবস্থানে এবং R লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব R′ অবস্থানে দেখা যাইবে। প্রতিবিম্বগুলি ক্রমশ একটু করিয়া উঁচুতে উঠিয়া আসিবে। এই কারণে জলপূর্ণ আধারের তলার দিকে দৃষ্টিপাত করিলে সমতল তল অবতল বলিয়া মনে হয়। তা'ছাড়া কোন অগভীর জলাশয়ের ভিতর কোন লোক দাঁড়াইলে সেইস্থানে জলের গভীরতা সর্বাপেক্ষা বেশী এবং অন্যান্য স্থানের গভীরতা অপেক্ষাকৃত কম মনে হয়; যদিও জলাশয়ের সর্বত্র প্রকৃত গভীরতা সমান।



চিত্র 3·10

Examples : (1) একটি কাচ-ফলকের উচ্চতা 10 সে. মি. ; ফলকের তলায় একটি বিন্দু আছে। ফলকের ভিতর দিয়া দেখিলে বিন্দুটির আপাত সরণ কত হইবে? কাচের $\mu=1\cdot5$.

উ। লক্ষ্যবস্তু ঘন মাধ্যমে ও চোখ লঘু মাধ্যমে থাকিলে, আমরা জানি,

$$\mu=\frac{\text{লক্ষ্যবস্তুর প্রকৃত উচ্চতা}}{\text{লক্ষ্যবস্তুর আপাত উচ্চতা}} \text{ অথবা, } 1\cdot5=\frac{10}{\text{লক্ষ্যবস্তুর আপাত উচ্চতা}}$$

সুতরাং, লক্ষ্যবস্তুর আপাত উচ্চতা $=\frac{10}{1\cdot5}=6\cdot6$ সে. মি.

$\therefore$ লক্ষ্যবস্তুটির সরণ $=10-6\cdot6=3\cdot4$ সে. মি.

(2) একটি জলপূর্ণ পাত্রের গভীরতা 12 ফুট; সোজাসুজি তাকাইলে পাত্রের গভীরতা কত মনে হইবে? জলের প্রতিসরাঙ্ক $=\frac{4}{3}$

উ। লক্ষ্যবস্তু ঘন মাধ্যমে এবং চোখ লঘু মাধ্যমে থাকিলে আমরা জানি,

$$\mu=\frac{\text{প্রকৃত উচ্চতা}}{\text{আপাত উচ্চতা}} \text{ অথবা } \frac{4}{3}=\frac{12}{\text{আপাত উচ্চতা}}$$

সুতরাং, পাত্রের আপাত গভীরতা $=\frac{12\times3}{4}=9$ ফুট।

(3) একটি স্বচ্ছ কাচের ঘনকের প্রত্যেক তলের দৈর্ঘ্য 15 সে.মি. ; উহার ভিতর একটি ছোট বায়ু বুদ্‌বুদ্ আছে। কোন একটি তল হইতে লক্ষ্য করিলে মনে হয় যেন উহা ঐ তল হইতে 6 সে. মি. গভীরে আছে। ঠিক বিপরীত তল হইতে লক্ষ্য করিলে উহার আপাত অবস্থান 4 সে. মি. গভীরে মনে হয়। প্রথম তল হইতে বুদ্‌বুদ্‌টির প্রকৃত দূরত্ব এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

উ। মনে কর, প্রথম তল হইতে বুদ্‌বুদের প্রকৃত দূরত্ব $=x$ সে. মি.; সুতরাং বিপরীত তল হইতে উহার প্রকৃত দূরত্ব $=(15-x)$ সে. মি.

বস্তু ঘন মাধ্যমে ও চোখ লঘু মাধ্যমে থাকিলে, আমরা জানি, $\mu=\frac{\text{প্রকৃত দূরত্ব}}{\text{আপাত দূরত্ব}}$

কাজেই, প্রথম তলের বেলাতে, $\mu=\frac{x}{6}$ এবং দ্বিতীয় তলের বেলাতে, $\mu=\frac{15-x}{4}$

$$\therefore\ \frac{x}{6}=\frac{15-x}{4}\ \text{বা,}\ \frac{x}{3}=\frac{15-x}{2}\ \text{বা,}\ 2x=45-3x$$

অথবা, $x=\underline{9}$ <u>সে. মি.</u> এবং $\mu=\frac{9}{6}=\underline{1\cdot5}$

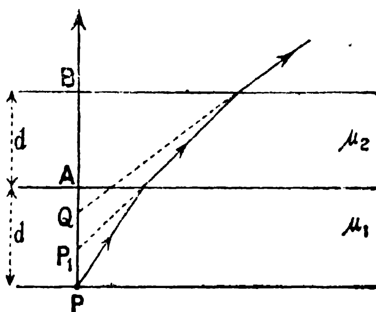
(4) একটি পাত্রের গভীরতা $2d$; উহার অর্ধেক μ_1 প্রতিসরাঙ্ক যুক্ত তরল দ্বারা ভর্তি এবং অপরার্ধ μ_2 প্রতিসরাঙ্কের তরল দ্বারা পূর্ণ। যদি পাত্রের তলদেশ লম্বভাবে দৃষ্টিপাত করা যায় তবে প্রমাণ কর যে, পাত্রের আপাত গভীরতা $=d\left(\frac{1}{\mu_1}+\frac{1}{\mu_2}\right)$

উ। মনে কর, প্রথম তরল হইতে দ্বিতীয় তরলে প্রতিসরণের পর রশ্মি P_1 বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে [3·11 নং চিত্র]। এখন 3·10 (খ) অনুচ্ছেদ অনুযায়ী,

$$\frac{AP}{AP_1}=\frac{\mu_1}{\mu_2}$$

$$\therefore\ AP_1=\frac{\mu_2}{\mu_1}.AP=\frac{\mu_2}{\mu_1}d$$

এখন দ্বিতীয় তরল হইতে বায়ুতে প্রতিসৃত হইবার পর, মনে কর, রশ্মি Q বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে।



চিত্র 3·11

এক্ষেত্রে, $\frac{BP_1}{BQ}=\mu_2$

$$\therefore\ BQ=\frac{BP_1}{\mu_2}=\frac{AB+AP_1}{\mu_2}=\frac{d}{\mu_2}+\frac{AP_1}{\mu_2}=\frac{d}{\mu_2}+\frac{d}{\mu_1}$$

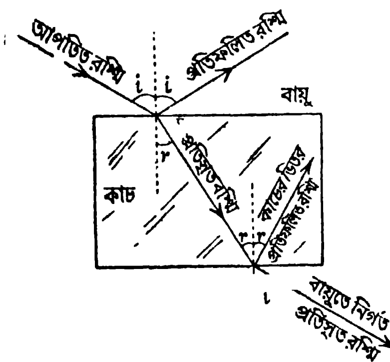
$$=d\left(\frac{1}{\mu_1}+\frac{1}{\mu_2}\right)$$

3·11 বায়ুমণ্ডলে প্রতিসরণ (Atomspheric refraction) **: সমুদ্রসমতল হইতে যত উপরে ওঠা যায় বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের ঘনত্ব তত কমিয়া যায়। সুতরাং সূর্য বা চন্দ্র হইতে নির্গত আলোকরশ্মি যখন আমাদের চোখে পৌঁছায় তখন বিভিন্ন স্তরের ভিতর দিয়া আসিবার ফলে রশ্মির প্রতিসরণ হয় এবং বস্তুকে আমরা উহার প্রকৃত অবস্থান হইতে খানিকটা উপরে দেখি। এই কারণে সূর্য বা চন্দ্র উঠিবার একটু আগে এবং অস্ত যাইবার একটু পরেও সূর্য বা চন্দ্র আমাদের দৃষ্টিগোচরে থাকে।**

তারা বা নক্ষত্রের ঝিকিমিকি ঃ অন্ধকার রাত্রে আকাশের দিকে দৃষ্টিপাত করিলে দেখিবে যে কতকগুলি জ্যোতিষ্ক মিটমিট করিয়া আলো দিতেছে এবং কতকগুলি স্থিরভাবে আলো দিতেছে। প্রথমোক্ত জ্যোতিষ্কগুলিকে বলা হয় নক্ষত্র এবং উহারা পৃথিবী হইতে বহুদূরে অবস্থিত এবং শেষোক্ত জ্যোতিষ্কগুলি হইল গ্রহ। উহারা পৃথিবী হইতে অপেক্ষাকৃত কম দূরে অবস্থিত। নক্ষত্রের ঐরকম ঝিকিমিকি হইবার কারণ কি?

তোমরা জ্বলন্ত উনানের উপরকার উত্তপ্ত বায়ুর মধ্য দিয়া কোন জিনিস দেখিবার চেষ্টা করিয়াছ? দেখিবে ঐরূপভাবে দূরের কোন বস্তুর প্রতি দৃষ্টিপাত করিলে মনে হইবে বস্তুটি কাঁপিতেছে। ইহার কারণ, বায়ু উত্তপ্ত হওয়ায় উহার ঘনত্ব ও প্রতিসরাঙ্ক অনবরত পরিবর্তন করে। ঐরূপ বায়ুর ভিতর দিয়া বস্তু দেখিলে বস্তুকে কম্পমান মনে হয়। তারার ঝিকিমিকির কারণও ঐরূপ। বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা কখনও সকল স্তরে সর্বত্র সমান থাকে না। উহা অনবরত পরিবর্তন করে। ফলে, বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের প্রতিসরাঙ্ক পরিবর্তিত হয়। বহু দূরবর্তী নক্ষত্র হইতে আলো ঐ বায়ুমণ্ডলের ভিতর দিয়া আসিবার কালে প্রতিসরাঙ্কের পরিবর্তনের জন্য প্রায়ই প্রতিসৃত হয় এবং আঁকা-বাঁকা পথে অগ্রসর হয়। ঐ আলো দর্শকের চোখে পৌঁছাইলে, দর্শক একবার হয়ত বেশী আলো দেখিবে, আবার পরক্ষণেই কিছু কম আলো দেখিবে। এইজন্য দর্শক তারাকে 'ঝিকমিক্' (twinkling) অবস্থায় দেখে। গ্রহগুলি পৃথিবীর নিকটবর্তী বলিয়া উহাদের আলোর তীব্রতা বেশী এবং ঐ আলোকরশ্মির পথ-পরিবর্তনের দরুন উজ্জ্বলতার হ্রাস-বৃদ্ধি বিশেষ বোঝা যায় না। তাই, উহারা স্থিরভাবে আলো দিতেছে বলিয়া মনে হয়।

3·12. আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন (Total internal reflection) ঃ আলোক-রশ্মি যখন লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে যায়, তখন আপতন কোণ যাহাই হউক না কেন সর্বদা রশ্মির কিছু অংশ দুই মাধ্যমের বিভেদতল হইতে প্রতিফলিত হয় এবং বেশীর ভাগ অংশ ঘন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়। 3·12 নং চিত্রে আলোক-রশ্মি প্রথমে বায়ু হইতে কাচে এবং পরে কাচ হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিতেছে। উভয় ক্ষেত্রেই রশ্মির প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হইয়াছে। কিন্তু আলোক-রশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যাইবার সময় সর্বদা এইরূপ ঘটনা ঘটে না।

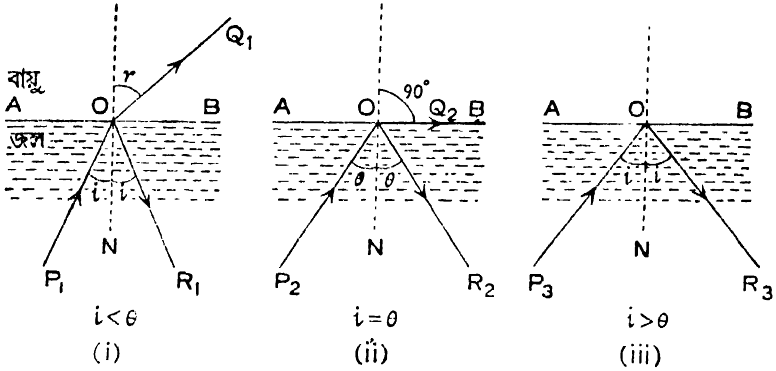


চিত্র 3·12

ধরা যাউক AB রেখা জল ও বায়ুমাধ্যমদ্বয়ের স্পর্শতল [চিত্র 3·13 (i)]। এখানে জল ঘন ও বায়ু লঘু মাধ্যম। জলের মধ্যে P_1 বিন্দু হইতে কোন রশ্মি P_1O খুব কম আপতন কোণে স্পর্শতলে O বিন্দুতে আপতিত হইল। এক্ষেত্রে বায়ুতে প্রতিসৃত রশ্মি OQ_1 এবং জলে প্রতি-ফলিত রশ্মি OR_1 পাওয়া যাইবে। অবশ্য প্রতিফলিত রশ্মি অপেক্ষাকৃত ক্ষীণ হইবে। আপতন

কোণ যত বৃদ্ধি করা যাইবে প্রতিসরণ কোণও তত বৃদ্ধি পাইবে এবং প্রতি ক্ষেত্রেই প্রতিসরণ ও প্রতিফলন হইবে। এইভাবে আপতন কোণ বৃদ্ধি করিয়া গেলে, অবশেষে একটি বিশেষ আপতন কোণে ($i=\theta$), প্রতিসৃত রশ্মি OQ_2 মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদ-তল ঘেঁষিয়া যাইবে অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ $90°$ হইবে। তখনও একটি ক্ষীণ রশ্মি OR_2 জলের মধ্যে প্রতিফলিত হইয়া আসিবে [চিত্র 3·13 (ii)]।

যেহেতু প্রতিসরণ কোণের মান $90°$ ডিগ্রীর বেশী হওয়া সম্ভব নয়, সেইহেতু বোঝা যাইতেছে যে আপতন কোণ আর একটু বাড়াইলে ($i>\theta$) আলোকরশ্মির সম্পূর্ণ অংশ জলে প্রতিফলিত হইবে এবং কোন প্রতিসৃত রশ্মি পাওয়া যাইবে না। চিত্র 3·13(iii)-এ ঐরূপ বর্ধিত আপতন



চিত্র 3·13

কোণ দেখানো হইয়াছে। তাহার ফলে OR_3 রশ্মি জলে প্রতিফলিত হইয়া আসিয়াছে। এই অবস্থায় মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদ তল আয়নার মত ব্যবহার করে। ইহাকেই **আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন** বলে।

তাছাড়া, যে-আপতন কোণের [চিত্র 3·13 (ii)-এ $\angle P_2ON$] ফলে প্রতিসরণ কোণ $90°$ হয় তাহাকে উক্ত মাধ্যমদ্বয়ের **সংকট কোণ** (critical angle) বলা হয়।

সুতরাং, আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হইতে গেলে নিম্নলিখিত দুইটি শর্তের অবশ্য প্রয়োজন :

(1) রশ্মিকে ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যাইতে হইবে।

(2) আপতন কোণ মাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ অপেক্ষা বড় হইতে হইবে।

সংকট কোণ ও ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সম্বন্ধ : ধরা যাউক $\angle P_2ON=\theta$. জল ও বায়ুমাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ [3·13(ii) নং চিত্র]। সুতরাং প্রতিসৃত রশ্মি OQ_2 জলের উপরতল AB ঘেঁষিয়া যাইবে অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ$=90°$; যদি বায়ু সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক μ হয় তবে, প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী আমরা জানি,

$$\frac{\sin\theta}{\sin 90°}=\frac{1}{\mu} \quad \therefore \sin\theta=\frac{1}{\mu}$$

সুতরাং ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক জানা থাকিলে সংকট কোণ নির্ণয় করা যায়।

Examples : (1) বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·52 হইলে উহাদের সংকট কোণ নির্ণয় কর।

উ। ধরা যাউক, সংকট কোণ$=\theta$; সুতরাং, $\sin\theta=1/\mu$. এস্থলে $\mu=1{\cdot}52$;

অতএব $\sin\theta=\frac{1}{1{\cdot}52}={\cdot}6579=\sin 41°$ (প্রায়) $\therefore$ $\underline{\theta=41°}$ (প্রায়)

(2) একটি রশ্মি কাচ হইতে জলে এমনভাবে প্রতিসৃত হইল যে প্রতিসৃত রশ্মি মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদ-তলে ঘেঁষিয়া গেল। বায়ুর তুলনায় কাচ ও জলের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·5 এবং 1·33 হইলে রশ্মির আপতন কোণ নির্ণয় কর।

উ। আমরা জানি, $_\omega\mu_g=\frac{_{air}\mu_g}{_{air}\mu_\omega}=\frac{1{\cdot}5}{1{\cdot}33}=1{\cdot}12$

যেহেতু প্রতিসৃত রশ্মি মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদতল ঘেঁষিয়া যাইতেছে সেইহেতু আপতন কোণ θ মাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ হইবে। এক্ষেত্রে জল লঘু মাধ্যম ও কাচ ঘন মাধ্যম। আমাদের জানা আছে,

$$\sin\theta=\frac{1}{_\omega\mu_g}=\frac{1}{1{\cdot}12}={\cdot}89 \quad \therefore \quad \underline{\theta=62°54'} \text{ (প্রায়)।}$$

3·13. **প্রতিসরণের সূত্র হইতে আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের প্রমাণ** (Proof of total internal reflection from the laws of refraction) : পূর্ব অনুচ্ছেদে বলা হইয়াছে 'θ' সংকট কোণ হইলে এবং ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক 'μ' হইলে, $\sin\theta=\frac{1}{\mu}$

এখন, ঘনতর মাধ্যমে আপতন কোণ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইলে নিম্নলিখিত উপায়ে প্রমাণ করা যায় যে প্রতিসরণ কোণের কোন বাস্তব মানের (real value) পক্ষে প্রতিসরণ সূত্র মানিয়া চলা সম্ভব নয়—অর্থাৎ ঐ অবস্থায় আলোক রশ্মির প্রতিসরণ সম্ভব নহে।

ধরা যাউক, সংকট কোণ θ অপেক্ষা বৃহত্তর কোন আপতন কোণের (i) বেলাতে প্রতিসরণ হইল [চিত্র 3·13 (iii)] এবং প্রতিসরণ কোণ$=\angle r$; এক্ষেত্রে প্রতিসরণের সূত্রানুযায়ী

$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{1}{\mu}$ অথবা, $\sin r=\sin i\times\mu$...(i)

যেহেতু, $i>\theta$, সেইহেতু, $\sin i>\sin\theta$

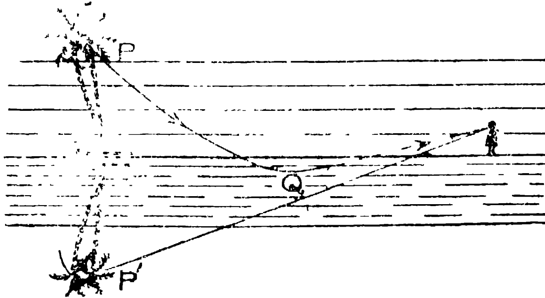
$$>\frac{1}{\mu} \qquad \left[\text{কারণ, } \sin\theta=\frac{1}{\mu}\right]$$

কাজেই (i) সমীকরণ হইতে আমরা জানিতে পারি, $\sin r>1$

কিন্তু 'r' কোণের কোন বাস্তব মানের পক্ষে $\sin r$-এর মান 1-এর বেশী হওয়া কখনও সম্ভব নয়। অতএব, উপরোক্ত অবস্থায় (অর্থাৎ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী আপতন কোণে) আলোকরশ্মির প্রতিসরণ হওয়া সম্ভব নয়; আলোকরশ্মি প্রতিফলিত হইয়া ঘনতর মাধ্যমে ফিরিয়া আসিবে।

3·14. পূর্ণ প্রতিফলনের প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত ঃ মরু অঞ্চলে বা শীতপ্রধান দেশে কোন দূরের বস্তু সম্বন্ধে লোকের একপ্রকার দৃষ্টিভ্রম (optical illusion) হয়। মরু অঞ্চলে মনে হয়, কোন দূরের গাছপালা কোন জলাশয় কর্তৃক প্রতিফলিত হইতেছে এবং শীতপ্রধান দেশে মনে হয় কোন দূরের বস্তুর উল্টা প্রতিবিম্ব আকাশে ঝুলিয়া আছে। এই ধরনের দৃষ্টিভ্রমকে **মরীচিকা** (mirage) বলে। ইহা আলোকের পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য হইয়া থাকে।

মরুভূমির মরীচিকা ঃ মরুভূমিতে সূর্যের উত্তাপে বালি খুব উত্তপ্ত হয় এবং উহার সংলগ্ন বায়ুস্তরও উত্তপ্ত হয়। ফলে ঐ বায়ুস্তরের আয়তন বাড়িয়া যায় ও ঘনত্ব কমিয়া যায়। যত উপরে ওঠা যায় তাপমাত্রা তত কম থাকে এবং তাহার ফলে উপরে ক্রমশ ঘনতর বায়ুস্তর অবস্থান করে। দূরের একটি গাছের কোন বিন্দু P হইতে যে-কোন নিম্নগামী আলোক-রশ্মি শীতল বায়ুস্তর হইতে উত্তপ্ত বায়ুস্তরে (অর্থাৎ ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে) যাওয়ার ফলে প্রতিসৃত হইবে এবং অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে। এইভাবে ক্রমশ বাঁকিতে বাঁকিতে অবশেষে এমন একটি স্তরে—যেমন Q-স্তরে আসিয়া পৌঁছাইবে যখন আপতন কোণ সেই স্তর ও



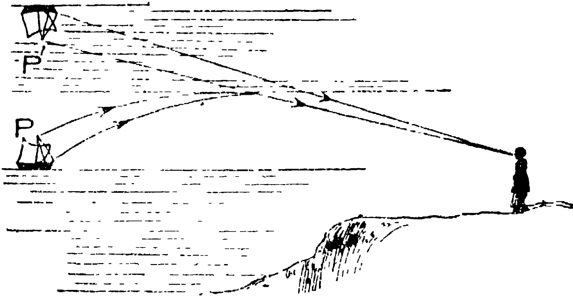
চিত্র 3·14(a)

পরবর্তী নিম্ন স্তরের সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইবে [3·14(a) নং চিত্র]। তখন রশ্মির প্রতিসরণ না হইয়া অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হইবে এবং প্রতিফলিত রশ্মি উপর দিকে যাত্রা সুরু করিবে। এইবার রশ্মি লঘুতর স্তর হইতে ঘনতর স্তরে প্রতিসৃত হওয়ায় ক্রমশ উপরের দিকে বাঁকিয়া যাইবে এবং অবশেষে মানুষের চোখে পৌঁছাইবে। চোখ রশ্মির এই বক্রপথ অনুসরণ করিতে পারিবে না। চোখ দেখিবে যেন রশ্মি P′ বিন্দু হইতে আসিতেছে। P′ বিন্দু হইবে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এইভাবে মানুষ সমগ্র গাছের একটা উল্টা প্রতিবিম্ব দেখিবে।

তাছাড়া, তাপমাত্রার অনবরত পরিবর্তনের ফলে বিভিন্ন বায়ুস্তরের ঘনত্ব ও প্রতিসরাঙ্ক সর্বদা পরিবর্তিত হয়। ইহাতে প্রতিবিম্বের মৃদু আন্দোলন হইতেছে বলিয়া মনে হয়, যেমন, বায়ুপ্রবাহের ফলে জলাশয়ের জল কম্পিত হইলে প্রতিবিম্ব আস্তে আস্তে আন্দোলিত হয়। গাছ হইতে সোজাসুজি যে-রশ্মি চোখে পৌঁছায় তাহার ফলে গাছকে যথাস্থানে দেখা যায়। এই সব মিলিয়া মানুষের চোখে জলাশয় কর্তৃক প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হইয়াছে এইরূপ দৃষ্টিভ্রম হয়।

অনুরূপ কারণে গ্রীষ্মকালে প্রখর সূর্যকিরণে সোজা পীচের রাস্তার দিকে তাকাইলে কিছুদূরে রাস্তা চকচকে ও জলসিক্ত বলিয়া মনে হয়—যেন ঐ স্থানে বৃষ্টি হইয়াছে। ইহাও মরীচিকার ন্যায় একটি দৃষ্টিভ্রম।

শীতপ্রধান দেশের মরীচিকা ঃ শীতের দেশে বায়ুস্তরের ঘনত্ব যত উপরে যাওয়া যায় তত কমিয়া যায়। সুতরাং, কোন দূরের বস্তু হইতে যে আলোকরশ্মি উর্ধ্বগামী হয় তাহা ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে যাওয়ার ফলে অভিলম্ব হইতে দূরে প্রতিসৃত হয়। এইভাবে

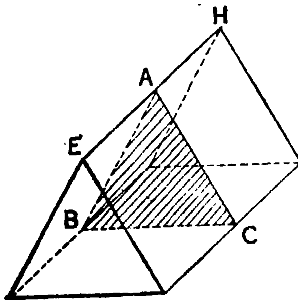


চিত্র 3·14(b)

ক্রমশ আপতন কোণ বৃদ্ধি পাইয়া অবশেষে একটি স্তর হইতে পূর্ণ প্রতিফলন হয়। তখন রশ্মি নিম্নগামী হইয়া মানুষের চোখে পৌঁছায় এবং মনে হয় উপরের কোন এক বিন্দু হইতে আসিতেছে। এইরূপে সমগ্র বস্তুর একটা উল্টা প্রতিবিম্ব আকাশে ঝুলন্ত অবস্থায় দেখা যায় [3·14(*b*) নং চিত্র]।

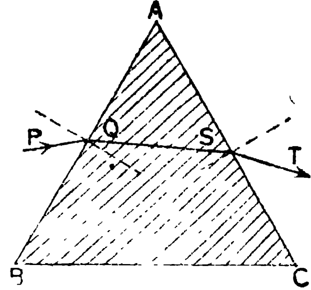
3·15 প্রিজমের দ্বারা আলোকের প্রতিসরণ (Refraction of light by a prism) :

প্রিজম ঃ ইহা একটি কাচের ত্রিভুজাকৃতি ফলক যাহার তলগুলি পরস্পরের সহিত আনত (inclined) এবং যাহার প্রান্তরেখাগুলি (edges) সব পরস্পর সমান্তরাল। প্রিজমের মোট পাঁচটি তল (surface)। তিনটি আয়তাকার এবং দুইটি ত্রিভুজাকার। 3·15 নং চিত্রে একটি প্রিজমের ছবি দেখানো হইয়াছে। EH প্রিজমের একটি প্রান্তরেখা। ABC প্রিজমের একটি ছেদ (section)। ইহাকে প্রিজমের **প্রধান ছেদ** (principal section) বলা হয়। ইহা প্রিজমের তিনটির প্রান্তরেখার সহিত লম্বভাবে অবস্থান করে। আমরা যখন প্রিজমের দ্বারা আলোকের প্রতিসরণ আলোচনা করিব তখন সর্বদা মনে করিব যে-রশ্মি প্রিজমের প্রধান



চিত্র 3·15

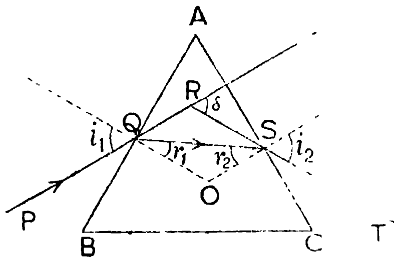
ছেদের তলে (plane) অবস্থান করিতেছে। BAC কোণকে প্রিজমের **প্রতিসারক কোণ** ও BC-কে **ভূমি** বলা হয়। AB অথবা AC যে-তলে অবস্থিত তাহাদের প্রতিসারকপৃষ্ঠ (refracting surface) বলা হয়।



চিত্র 3·16

ধরা যাউক, ABC একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ। PQ একটি রশ্মি AB তলে Q বিন্দুতে আপতিত হইল (3·16 নং চিত্র)। এইবার আলোকরশ্মি কাচ মাধ্যমে প্রবেশ করিলে প্রতিসৃত হইবে এবং QS প্রতিসৃত রশ্মি AB তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের দিকে সরিয়া যাইবে। আলোকরশ্মি AC তলে S বিন্দুতে আপতিত হইয়া পুনরায় বায়ুমাধ্যমে নির্গত হইবে। ইহার ফলে রশ্মি পুনরায় প্রতিসৃত হইবে এবং AC তলে অঙ্কিত অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া গিয়া ST সরলরেখায় নির্গত হইবে। সুতরাং PQST হইল আলোকরশ্মির সমগ্র পথ। ইহা স্পষ্টই বোঝা যায় যে প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে রশ্মি প্রিজমের ভূমির (BC) দিকে বাঁকিয়া যায় অর্থাৎ রশ্মির পথের **চ্যুতি** (deviation) ঘটে। আপতিত রশ্মি PQ-র অভিমুখ ও নির্গম রশ্মি ST-র অভিমুখ পরস্পরের সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে **চ্যুতি-কোণ** (angle of deviation) বলে। এখানে উল্লেখযোগ্য যে, পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের তুলনায় প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কম হইলে, রশ্মির চ্যুতি উল্টা হয়—অর্থাৎ ভূমির দিকে না বাঁকিয়া প্রিজমের শীর্ষের দিকে বাঁকিয়া যায়।

চ্যুতি-কোণের পরিমাপ : মনে কর, ABC প্রিজমের ভিতর দিয়া PQST হইল আলোকরশ্মির সমগ্র পথ (3·17 নং চিত্র)। PQ ও TS-কে বর্ধিত করিলে উহারা যে-কোণ উৎপন্ন করে (δ) উহাই হইল রশ্মির চ্যুতি-কোণ। AB তলে PQ রশ্মির আপতন কোণ i_1 এবং প্রতিসরণ কোণ r_1 এবং AC তলে QS রশ্মির আপতন কোণ r_2 এবং নির্গম কোণ i_2 ; এখন RQS ত্রিভুজের QR বাহু বর্ধিত করা হইয়াছে বলিয়া বহিঃকোণ $\delta = \angle RQS + \angle RSQ = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2) = i_1 + i_2 - (r_1 + r_2)$



চিত্র 3·17

এখন, AQOS চতুর্ভুজের সব কয়টি কোণের সমষ্টি$=4rt\angle s$

অর্থাৎ, $\angle A + \angle O + \angle AQO + \angle ASO = 4rt\angle s$

কিন্তু $\angle AQO+\angle ASO=2rt\angle s$ [কারণ, QO এবং SO যথাক্রমে AB ও AC তলে লম্ব]

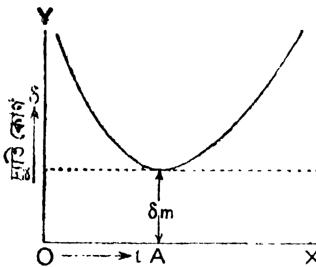
$\therefore\ \angle A+\angle O=2rt\angle s$

আবার QSO ত্রিভুজের $\angle O+\angle r_1+\angle r_2=2rt\angle s$

$\therefore\ \angle A=\angle r_1+\angle r_2$ .. .. (i)

সুতরাং, $\delta=i_1+i_2-A$ .. .. (ii)

3·16 **ন্যূনতম চ্যুতির কোণ** (Angle of minimum deviation) : উপরোক্ত সমীকরণ হইতে ইহা স্পষ্ট বোঝা যায় যে কোন নির্দিষ্ট প্রতিসারক কোণের প্রিজমের বেলাতে চ্যুতি-কোণ δ আপতন কোণ i_1-এর উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ, আপতন কোণ পরিবর্তন করিলে চ্যুতি-কোণও পরিবর্তিত হয়। কিন্তু দেখা গিয়াছে, একটি নির্দিষ্ট আপতন কোণে চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম (minimum) হয়। অর্থাৎ, আপতিত রশ্মি ঐ নির্দিষ্ট কোণ অপেক্ষা বেশী অথবা কম কোণে আপতিত হইলে চ্যুতি-কোণ সর্বদা বাড়িয়া যায়। একটি রশ্মিকে বিভিন্ন আপতন কোণে একটি প্রিজমের উপর ফেলিয়া উহার বিভিন্ন চ্যুতি-কোণ নির্ণয় করিয়া আপতন-কোণ (i) এবং চ্যুতি-কোণ (δ)-গুলির ভিতর একটি লেখ (graph) টানিলে উহা 3·18 নং চিত্রের ন্যায় হইবে। ইহাকে $i-\delta$ লেখ বলা হয়।



চিত্র 3·18

চিত্র হইতে সহজে বোঝা যায় একটি নির্দিষ্ট আপতন কোণে (চিত্র OA) রশ্মি আপতিত হইলে চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম (δ_m) হয়। অন্য যে-কোন আপতন কোণের বেলাতে চ্যুতি-কোণ বেশী হয়। চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম হইলে উহাকে **ন্যূনতম চ্যুতি কোণ** বলা হয়। কোন প্রিজমকে যদি এমনভাবে স্থাপন করা যায় যে, আপতিত রশ্মি উক্ত আপতন কোণে প্রিজমের উপর পড়িল এবং চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম হইল তখন প্রিজমের ঐ অবস্থানকে **ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থান** (position of minimum deviation) বলা হয়।

3·17. **ন্যূনতম চ্যুতির শর্ত** (Condition of minimum deviation) : গণিতের সাহায্যে নিম্নলিখিত রূপে প্রমাণ করা যায় যে প্রিজমের ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে আপতন কোণ (i_1) এবং নির্গম কোণ (i_2) পরস্পরের সমান হয়।

3·17 নং চিত্র হইতে লেখা যায়,

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1}=\frac{\sin i_2}{\sin r_2}=\mu$$ [μ=প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক]

$$\frac{\sin i_1+\sin i_2}{\sin r_1+\sin r_2}=\mu$$

$$\text{or,}\quad \frac{2\sin\frac{i_1+i_2}{2}\cos\frac{i_1-i_2}{2}}{2\sin\frac{r_1+r_2}{2}\cos\frac{r_1-r_2}{2}}=\mu$$

$$\text{or,}\quad \frac{\sin\frac{\delta+A}{2}\cos\frac{i_1-i_2}{2}}{\sin\frac{A}{2}\cos\frac{r_1-r_2}{2}}=\mu$$ [3·15 অনুচ্ছেদের (i) এবং (ii) নং সমীকরণের সহায়তায়]

যেহেতু μ একটি ধ্রুবরাশি সেইহেতু বামদিকের দুইটি রাশির গুণফলও ধ্রুবক হইবে। এখন, δ ন্যূনতম হইলে $\left(\sin\frac{\delta+A}{2}\Big/\sin A/2\right)$—এই রাশির মানও ন্যূনতম হইবে—অথবা $\left(\cos\frac{i_1-i_2}{2}\Big/\cos\frac{r_1-r_2}{2}\right)$—এই রাশির মান বৃহত্তম (maximum) হইবে কারণ উহাদের গুণফল ধ্রুবক। যদি $i_1<i_2$ হয়, তবে $r_1>r_2$ হইবে; আবার, যেহেতু বায়ুতে রশ্মির ঘূর্ণন ঘনতর মাধ্যমে ঘূর্ণনের চাইতে বেশী, সেই হেতু $(i_1-i_2)>(r_1-r_2)$

$$\therefore\quad \cos\frac{i_1-i_2}{2}<\cos\frac{r_1-r_2}{2}$$

$$\text{অথবা,}\quad \frac{\cos\frac{i_1-i_2}{2}}{\cos\frac{r_1-r_2}{2}}<1$$

আবার, যদি $i_1<i_2$ হয় তবে $r_1<r_2$ হইবে ; অতএব $(i_2-i_1)>(r_2-r_1)$

$$\therefore\quad \cos(i_2-i_1)<\cos(r_2-r_1)$$

$$\text{এখন,}\quad \frac{\cos\left(\frac{i_1-i_2}{2}\right)}{\cos\left(\frac{r_1-r_2}{2}\right)}=\frac{\cos-\left(\frac{i_2-i_1}{2}\right)}{\cos-\left(\frac{r_2-r_1}{2}\right)}=\frac{\cos\frac{i_2-i_1}{2}}{\cos\frac{r_2-r_1}{2}}<1$$

কাজেই, $i_1>i_2$ হউক অথবা $i_1<i_2$ হউক $\frac{\cos(i_1-i_2)/2}{\cos(r_1-r_2)/2}$—এই রাশি সর্বদা 1-এর কম। কিন্তু যখন $i_1=i_2$ এবং সেইকারণে, $r_1=r_2$ তখন উপরোক্ত রাশি 1-এর সমান এবং উহাই বৃহত্তম মান।

কাজেই, চ্যুতি ন্যূনতম হইতে গেলে $i_1=i_2$ অথবা $r_1=r_2$ হইতে হইবে।

[ক্যালকুলাসের সাহায্যে (By Calculus) :

আমরা দেখিয়াছি, $\delta=i_1+i_2-A\ldots$(i)

এবং $A=r_1+r_2\ldots$(ii)

যখন δ নিম্নতম হইবে তখন, $\frac{d}{di_1}(\delta)=0$ অর্থাৎ $\frac{d}{di_1}\ (i_1+i_2-A)=0$ অথবা,

$1+\frac{di_2}{di_1}=0$ [প্রিজমের প্রতিসারক কোণ A ধ্রুবক] অথবা $\frac{di_2}{di_1}=-1\ldots$(iii)

(ii) নং সমীকরণকে ডিফারেন্সিয়েট করিয়ে পাই, $\frac{d}{dr_1}(A)=\frac{d}{dr_1}\ (r_1+r_2)$

$$\text{অথবা,}\quad 0=1+\frac{dr_2}{dr_1}\ \text{অথবা,}\ \frac{dr_2}{dr_1}=-1\ldots\text{(iv)}$$

এখন চিত্র 3·17 দেখ। Q এবং S বিন্দুতে প্রতিসরণ বিবেচনা করিলে এবং প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ ধরিলে, আমরা লিখিতে পারি,

$$\sin i_1=\mu\sin r_1\ \text{এবং}\ \sin i_2=\mu\sin r_2$$

এই সমীকরণদ্বয়কে ডিফারেন্সিয়েট করিলে পাই,

$$\cos i_1.\ di_1=\mu\cos i_1\ d\,r_1\ \text{এবং}\ \cos i_2.\ di_2=\mu\cos r_2.\ dr_2$$

$$\therefore\ \frac{\cos i_1}{\cos i_2}.\ \frac{di_1}{di_2}=\frac{\cos r_1}{\cos r_2}.\ \frac{dr_1}{dr_2}$$

(iii) এবং (ii) নং সমীকরণের সহায়তায় লেখা যায়,

$$\frac{\cos i_1}{\cos i_2}=\frac{\cos r_1}{\cos r_2}\quad [\because\ di_1=-di_2\ \text{এবং}\ dr_1=-dr_2\ ]$$

বর্গ লইলে, $$\frac{1-\sin^2 i_1}{1-\sin^2 i_2}=\frac{1-\sin^2 r_1}{1-\sin^2 r_2}$$

উপরোক্ত সমীকরণের দক্ষিণদিকের হর এবং লবকে μ^2 দ্বারা গুণ করিলে পাই,

$$\frac{1-\sin^2 i_1}{1-\sin^2 i_2}=\frac{\mu^2-\mu^2\sin^2 r_1}{\mu^2-\mu^2\sin^2 r_2}=\frac{\mu^2-\sin^2 i_1}{\mu^2-\sin^2 i_2}\ \text{[স্নেল সূত্রের সাহায্যে]}$$

$$=\frac{(\mu^2-\sin^2 i_1)-(1-\sin^2 i_1)}{(\mu^2-\sin^2 i_2)-(1-\sin^2 i_2)}=\frac{\mu^2-1}{\mu^2-1}=1$$

or, $\sin^2 i_1=\sin^2 i_2$ অথবা $i_1=i_2$]

3·18. প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক : (Refractive index of the material of a prism) : আমরা দেখিয়াছি, $\delta=i_1+i_2-A$ এবং $A=r_1+r_2$

যদি কোন রশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া ন্যূনতম চ্যুতিতে প্রতিসৃত হয়, তবে পরীক্ষা দ্বারা এবং গাণিতিক হিসাব দ্বারা প্রমাণ করা যায়, আপতন কোণ i_1=নির্গম কোণ i_2—অর্থাৎ, যখন চ্যুতি-কোণ ন্যূনতম (δ_m) তখন $i_1=i_2$; আবার ইহা সহজেই বোঝা যায় যে যখন $i_1=i_2$ তখন $r_1=r_2$; সুতরাং $A=2r_1$ অথবা $r_1=\frac{A}{2}$

আবার, $\delta_m = 2i_1 - A$ or, $i_1 = \frac{\delta_m + A}{2}$

এখন AB তলে প্রতিসরণ বিবেচনা করিলে আপতন কোণ$=i_1$ এবং প্রতিসরণ কোণ $=r_1$. যদি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 'μ' বলা হয় তবে

$$\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin\frac{\delta_m + A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

সুতরাং ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ (δ_m) এবং প্রিজমের প্রতিসারক কোণ (A) জানা থাকিলে উপরোক্ত সমীকরণের সাহায্যে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক সহজেই নির্ণয় করা যাইবে।

Examples : (1) একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং উক্ত প্রিজমের ভিতর দিয়া কোন রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ 30°. প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত?

উ। এস্থলে $A = 60°$ এবং $\delta_m = 30°$

আমরা জানি, $$\mu = \frac{\sin\frac{\delta_m + A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

অথবা, $$\mu = \frac{\sin\frac{30+60}{2}}{\sin\frac{60}{2}} = \frac{\sin 45°}{\sin 30°} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 2 = \underline{\sqrt{2}}$$

(2) কোন প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5, উহার ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ কত? [sin 48°36′=0·75]

উ। এস্থলে $A = 60°$ এবং $\mu = 1\cdot5$ আমরা জানি, $\mu = \frac{\sin\frac{\delta_m + A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

$$1\cdot5 = \frac{\sin\frac{\delta_m + 60}{2}}{\sin\frac{60}{2}} = \frac{\sin\frac{\delta_m + 60}{2}}{\sin 30°} = \frac{\sin\frac{\delta_m + 60}{2}}{\frac{1}{2}}$$

or, $0\cdot75 = \sin\frac{\delta_m + 60}{2}$ or, $\sin 48°36' = \sin\frac{\delta_m + 60}{2}$

$$\frac{\delta_m + 60}{2} = 48°36' \text{ or, } \delta_m = 97°12' - 60° = 37°12.$$

(3) 1·6 প্রতিসরাঙ্ক যুক্ত একটি প্রিজমের মধ্য দিয়া একটি আলোকরশ্মি এরূপভাবে গমন করিল যে প্রিজমের দ্বিতীয় তল হইতে রশ্মিটি ঠিক পূর্ণ প্রতিফলিত হইল। প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° হইলে প্রিজমের প্রথম তলে রশ্মির আপতন কোণ কত? $\sin 38°41' = 0·6250$; $\sin 21°19' = 0·3656$; $\sin 35°48' = 0.5850$.

উ। যদি প্রথম তলে প্রতিসারক কোণ r_1 এবং দ্বিতীয় তলে আপতন কোণ r_2 হয় তবে আমরা জানি, $A = r_1 + r_2$

যেহেতু, প্রিজমের দ্বিতীয় তলে আলোকরশ্মির ঠিক পূর্ণ প্রতিফলন হইতেছে, কাজেই

$$\sin r_2 = \frac{1}{1·6} = 0.6250 = \sin 38°41' \quad \therefore \quad r_2 = 38°41'$$

এখন, $A = r_1 + r_2$ অথবা $60° = r_1 + 38°41'$ or, $r_1 = 60° - 38°41' = 21°19'$.

ধর, প্রিজমের প্রথম তলে আলোকরশ্মির আপতন কোণ i; এক্ষেত্রে,

$$1·6 = \frac{\sin i}{\sin r_1} = \frac{\sin i}{\sin 21°19'} = \frac{\sin i}{0·3656}$$

$\therefore \quad \sin i = 1·6 \times 0·3656 = 0·5850$ (প্রায়) $= \sin 35°48'$

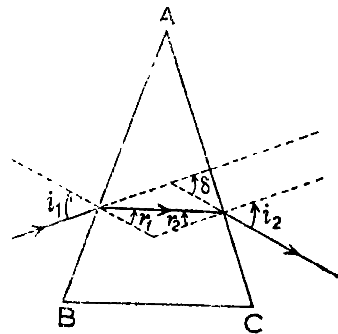
$\therefore \quad \underline{i = 35°48'}$.

3·19. পাতলা প্রিজমের দ্বারা প্রতিসরণ (Refraction through a thin prism): কোন প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ক্ষুদ্র হইলে (10° অধিক নয়) উহাকে পাতলা প্রিজম বলে।

ধর, ঐরূপ একটি পাতলা প্রিজম BAC-এর উপর একটি রশ্মি খুব ক্ষুদ্র আপতন কোণে (i_1) অর্থাৎ প্রায় অভিলম্ব আপতনে আপতিত হইল (চিত্র 3·19). এখন আমরা জানি,

$$\delta = i_1 + i_2 - A \ldots \text{(i)}$$

এবং $\mu = \dfrac{\sin i_1}{\sin r_1} = \dfrac{\sin i_2}{\sin r_2} \ldots$ (ii)



চিত্র 3·19

যেহেতু i_1 এবং r_1 খুব ক্ষুদ্র সেইহেতু i_2 এবং r_2-ও খুব ক্ষুদ্র হইবে। কাজেই, (ii) নং সমীকরণ হইতে লেখা যায়, $\mu = \dfrac{i_1}{r_1} = \dfrac{i_2}{r_2}$

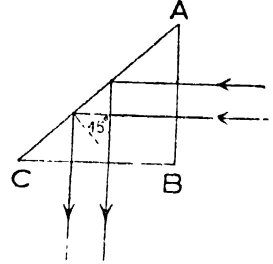
এখন, (i) নং সমীকরণ হইতে পাই, $\delta = \mu r_1 + \mu r_2 - A$

$$= \mu(r_1 + r_2) - A = \mu A - A = A(\mu - 1)$$

এই সমীকরণ হইতে বোঝা যায় যে পাতলা প্রিজমে চ্যুতি কেবলমাত্র প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ($\angle A$) এবং প্রতিসরাঙ্কের (μ) উপর নির্ভর করে; আপতন কোণের উপর নির্ভর করে না।

3·20. **প্রিজমের কয়েকটি বিশেষ ব্যবহার** (Some specific uses of prism) :

(i) **পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম্** (Total reflection prism) :



চিত্র 3·20

ABC একটি সমদ্বিবাহু সমকোণী (right angled isosceles) কাচের প্রিজম্। একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি লম্বভাবে AB তলে আপতিত হইলে রশ্মিগুলি সোজা প্রিজমের ভিতর প্রবেশ করিবে এবং AC তলে আপতিত হইবে (3·20 নং চিত্রে)। এস্থলে রশ্মির আপতন কোণ 45°, কিন্তু কাচ ও বায়ুর সংকট কোণ 41°45′, সুতরাং রশ্মিগুলি কাচ হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিবার সময় সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী কোণে আপতিত হইতেছে। এই অবস্থায় রশ্মিগুলির আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হইবে এবং BC তলে লম্বভাবে আপতিত হইয়া দিক্ পরিবর্তন না করিয়া বায়ুতে নির্গত হইবে। এই ধরণের প্রিজমকে পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম বলা হয়। এস্থলে লক্ষনীয় যে **রশ্মির 90° চ্যুতি** হইয়াছে।

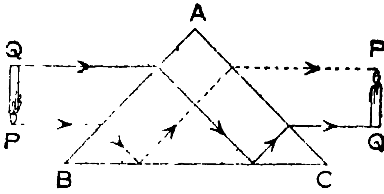
পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজমের কার্যপ্রণালীর সহিত সমতল দর্পণের কার্যপ্রণালীর অবিকল মিল আছে। কারণ, যদি মনে করা যায় যে ABC প্রিজমের পরিবর্তে AC একটি সমতল দর্পণ তবে উপরোক্ত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ ঠিক পূর্বের মতই প্রতিফলিত হইবে। এই কারণে অনেক আলোকীয় যন্ত্রে (optical instrument) রশ্মির প্রতিফলনের জন্য সমতল দর্পণের পরিবর্তে পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম ব্যবহার করা হয়। কারণ, **সমতল দর্পণ অপেক্ষা প্রিজমের কতগুলি সুবিধা আছে।** সুবিধাগুলি নিম্নরূপ :

(*a*) **সমতল দর্পণে সম্মুখের এবং পিছনের দুইটি তলে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের দরুন প্রতিবিম্ব খুব উজ্জ্বল হয় না এবং একের অধিক প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়া বিভ্রান্তির সৃষ্টি করে। পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজমে রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হয় বলিয়া একটি প্রতিবিম্ব তৈয়ারী হয় এবং উহা উজ্জ্বল হয়।**

(*b*) **সমতল দর্পণে পারদের প্রলেপ থাকে। ঐ প্রলেপ নষ্ট হইয়া গেলে প্রতিবিম্ব অস্পষ্ট হয়। পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজমে ঐরূপ কোন প্রলেপ না থাকায় প্রতিবিম্ব সর্বদা স্পষ্ট থাকে।**

(*c*) **সমতল দর্পণে বিক্ষেপণ (scattering) দ্বারা কিছু আলোক নষ্ট হয় কিন্তু প্রিজমে উহা হয় না।**

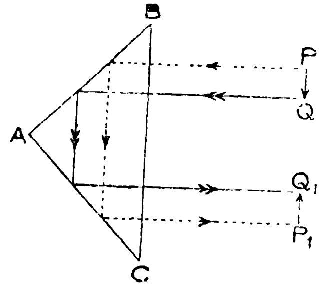
(ii) **প্রতিবিম্ব সমশীর্ষকারী প্রিজম** (Erecting prism) : এই প্রিজমের সাহায্যে কোন অবশীর্ষ (inverted) প্রতিবিম্বকে সমশীর্ষ করা যায়। ইহা আর কিছু নয় —পূর্বোক্ত সমদ্বিবাহু সমকোণী প্রিজম। ABC হইল প্রিজম্ (3·21 নং চিত্র)। মনে কর QP একটি মোমবাতির অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব। উহা হইতে আলোকরশ্মি প্রিজমের অভ্যন্তরে প্রতিসৃত হইয়া BC তলে আপতিত হইলে আপতন কোণ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইবে। ফলে রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হইবে। রশ্মিগুলি যখন প্রিজম্ হইতে নির্গত হইবে তখন উহাদের **দিক্-চ্যুতি হইবে না** কিন্তু অবস্থান উল্টাইয়া যাইবে (চিত্র দ্রষ্টব্য)। ফলে, PQ প্রতিবিম্ব সমশীর্ষ দেখা যাইবে। এস্থলে লক্ষণীয় যে, **রশ্মির কোন চ্যুতি হয় নাই।**



চিত্র 3·21

দূরবীক্ষণ, বাইনোকুলার, পেরিস্কোপ প্রভৃতি নানাপ্রকার আলোকীয় যন্ত্রে উপরোক্ত প্রিজম্ ব্যবহার করিয়া অবশীর্ষ প্রতিবিম্বকে সমশীর্ষ করা হয়। প্রতিবিম্বকে সমশীর্ষ করিবার জন্য উপরোক্ত প্রিজমকে আর এক উপায়ে ব্যবহার করা যাইতে পারে।

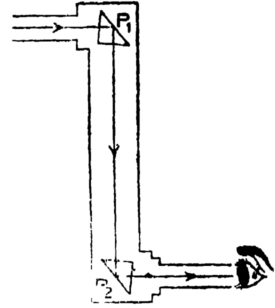
মনে কর, PQ একটি অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব ABC প্রিজমের অতিভুজ বাহু BC-র সম্মুখে গঠিত হইয়াছে (চিত্র 3·22)। প্রতিবিম্ব হইতে আলোকরশ্মি অতিভুজ বাহুর উপর লম্বভাবে পড়িয়া সোজা প্রিজমের অভ্যন্তরে প্রবেশ করিবে এবং AB বাহুতে আপতিত হইবে। AB বাহুতে রশ্মির আপতন কোণ হইবে 45°; উহা বায়ু ও কাচের সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী। অতএব রশ্মি পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া AC বাহুতে আপতিত হইবে। একই কারণে AC বাহু কর্তৃক রশ্মি পুনরায় পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া BC বাহুর উপর লম্বভাবে পড়িয়া সোজাসুজি নির্গত হইবে। চিত্র হইতে সহজে বোঝা যায়, এইরূপ প্রতিফলনে Q_1P_1 প্রতিবিম্ব সমশীর্ষ দেখাইবে। এস্থলে লক্ষণীয় যে **রশ্মির চ্যুতি** 180°.



চিত্র 3·22

(iii) **প্রিজম পেরিস্কোপ** (Prism periscope)ঃ 2·8 অনুচ্ছেদে সমতল দর্পণ দ্বারা সরল পেরিস্কোপ গঠন প্রণালী বর্ণনা করা হইয়াছে। কিন্তু সমতল দর্পণের পরিবর্তে পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম্ ব্যবহার করিলে প্রতিবিম্ব খুব উজ্জ্বল হয় বলিয়া উন্নত ধরনের পেরিস্কোপে প্রিজম্ ব্যবহার করা হয়। ঐ ধরনের পেরিস্কোপকে প্রিজম্ পেরিস্কোপ বলা হয়। 3·23 নং চিত্রে ঐরূপ একটি প্রিজম্ পেরিস্কোপের কার্য-প্রণালী দেখানো হইয়াছে।

P_1 এবং P_2 দুইটি সমদ্বিবাহু সমকোণী প্রিজম্ একটি নলের ভিতর আটকানো আছে। প্রিজম্ দুইটির অতিভুজ বাহুদ্বয় পরস্পরের সমান্তরাল। কোন লক্ষ্যবস্তু—ধর একটি গাছ হইতে আগত রশ্মি P_1 প্রিজমের অতিভুজ বাহু দ্বারা পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া নলের অক্ষ বরাবর অগ্রসর হয় এবং P_2 প্রিজমের অতিভুজ বাহু দ্বারা পুনরায় পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া দর্শকের চোখে পৌঁছায়। দর্শক তখন লক্ষ্যবস্তুকে দেখিতে পায়। এক্ষেত্রে আলোকরশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হয় বলিয়া প্রতিবিম্ব খুব উজ্জ্বল হয়; তাছাড়া লেন্স ব্যবহার করিয়া প্রতিবিম্বকে বিবর্ধিত করা হয়।



চিত্র 3·23

Exercises

1. আলোকের প্রতিসরণ কাহাকে বলে? নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কিরূপে আলোকের প্রতিসরণ হয় তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও: (ক) বায়ু হইতে কাচে, (খ) জল হইতে বায়ুতে।

2. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির জবাব দাও:—

(ক) একটি দণ্ডকে আংশিক জলে ডুবাইলে বাঁকা দেখায় কেন?

(খ) একটি জলপূর্ণ পাত্র একটু অগভীর মনে হয় কেন?

(গ) সূর্য অস্ত গেলেও কিছুক্ষণ সূর্যকে দেখা যায় কেন?

3. প্রতিসরণের সূত্র কি? প্রতিসরাঙ্ক বলিতে কি বোঝ? কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 বলিতে কি বুঝায়?

4. আলোক সাপেক্ষে এক মাধ্যম অপর মাধ্যম অপেক্ষা বেশী ঘন বলিতে কি বুঝায়? এই ঘনত্বের সহিত মাধ্যমের আপেক্ষিক গুরুত্বের সম্পর্ক কি? নিম্নলিখিত পদার্থগুলিকে আলোক সাপেক্ষে উহাদের ঘনত্বের ক্রমবর্ধমান মান অনুযায়ী সাজাও:—(ক) কাচ, (খ) তার্পিন তেল, (গ) বরফ এবং (ঘ) জল।

5. কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সহিত ঐ মাধ্যমে আলোকের গতিবেগের সম্পর্ক কি? নিম্নলিখিত মাধ্যমগুলির কোন্‌টির ভিতর দিয়া আলোকের গতিবেগ সর্বাপেক্ষা বেশী এবং কোনটির ভিতর সর্বাপেক্ষা কম:—(ক) বায়ু, (খ) জল, (গ) কাচ? লালবর্ণের আলোকের গতিবেগ বেগুনী বর্ণের চাইতে কম না বেশী?

6. একটি সমান্তরাল ফলকের ভিতর দিয়া আলোকরশ্মির প্রতিসরণ হইলে আপতিত রশ্মি ও নির্গম রশ্মি পরস্পরের সমান্তরাল হয়, ইহা প্রমাণ কর। ঐ ক্ষেত্রে রশ্মির পার্শ্বসরণ কত হইবে?

7. 'a' এবং 'b' দুইটি মাধ্যম। প্রমাণ কর, $_a\mu_b = \dfrac{\text{'a' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক}}{\text{'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক}}$

বায়ু সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক 1·33 এবং বায়ু সাপেক্ষে কোন তেলের প্রতিসরাঙ্ক 1·45, জল সাপেক্ষে তেলের এবং তেল সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক কত?

[*H.S. Exam. 1966*] [*Ans.* 1·07; 0·9]

8. একটি কাচফলকের ভিতর দিয়া কোন বস্তুকে সোজাসুজি দেখিলে লক্ষ্য বস্তুর প্রকৃত অবস্থান ও আপাত অবস্থানের ভিতর সম্পর্ক নির্ণয় কর। [*H.S. Exam. 1964*]

9. 4 সে.মি. উচ্চ একটি কাচফলকের তলায় একটি ছবি আটকানো আছে। ছবিকে সোজাসুজি দেখিলে উহা কতটা উঠিয়া আছে বলিয়া মনে হইবে? কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·6.

[Ans. 1·5 সে.মি.]

10. বায়ু এবং অন্য একটি ঘন মাধ্যমের বিভেদ-তল হইতে 12′ দূরে বায়ুমধ্যে একটি বৈদ্যুতিক বাতি রাখা আছে। ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক 1·5, বিভেদতল হইতে 10′ নীচে ঘন মাধ্যমের মধ্যে চোখ রাখিয়া বাতিকে দেখিলে বাতি কোথায় অবস্থিত বলিয়া মনে হইবে?

[Ans. চোখ হইতে 28′ দূরে]

11. কোন জলাশয়ের জলতল হইতে 1·5 মিটার উঁচুতে একটি ছোট বাতি ধরিলে, জলতল কর্তৃক বাতির প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব জলাশয়ের তলার প্রতিবিম্বের সহিত মিলিয়া যায়। জলের প্রতিসরাঙ্ক 4/3 হইলে, জলাশয়ের গভীরতা কত? [Ans. 2 মিটার]

12. একটি আলোকরশ্মি একটি আয়তাকার কাচের ব্লকের অভ্যন্তরে ঢুকিয়া নীচু তলে আপতিত হইল। উহার আপতন কোণ 30°; রশ্মির কিছু অংশ নীচুতল কর্তৃক কাচের ভিতর প্রতিফলিত হইল এবং বাকী অংশ বায়ুতে নির্গত হইল। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হইলে নির্গত রশ্মি ও প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয়ের মধ্যে কোণ নির্ণয় কর। (sin 48°40′=0.75)

[Ans. 101°20′]

13. একটি সমান্তরাল তল-বিশিষ্ট কাচপ্লেটের মধ্য দিয়া লম্বভাবে একটি বস্তুকে দেখা হইতেছে। প্লেটের বেধ '*d*' এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক μ হইলে প্রমাণ কর যে দর্শকের দিকে বস্তুর আপাত সরণ $= \dfrac{(\mu-1)d}{\mu}$

14. আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ও সংকট কোণ কাহাকে বলে পরিষ্কারভাবে বুঝাইয়া দাও। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে সংকট কোণ পাওয়া যাইবে কিনা বল ঃ—

(ক) আলোকরশ্মি বায়ু হইতে কাচে যাইতেছে।

(খ) আলোকরশ্মি কাচ হইতে বায়ুতে যাইতেছে।

15. প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ এবং 'সংকট কোণ, ও 'আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন' ব্যাখ্যা কর। সংকট কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের ভিতর সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[*H.S. Exam. 1960, '62 (Comp) 1963, 1966*]

16. বায়ু সাপেক্ষে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হইলে উহাদের মধ্যে সংকট কোণ কত হইবে? [Ans. 45°]

17. নিম্নলিখিত প্রশ্নের জবাব লেখ :—

(ক) ভুষাকালি মাখা ধাতব বল জলে ডুবাইলে চকচকে দেখায় কেন?

(খ) কাচের জানালায় ফাটল থাকিলে উহা চকচকে দেখায় কেন?

(গ) একটি খালি কাচের নল জলপূর্ণ পাত্রে তির্যকভাবে রাখিলে নিমজ্জিত অংশ চকচকে দেখায় কেন?

(ঘ) গ্রীষ্মকালে প্রখর সূর্যকিরণে পিচের রাস্তা বরাবর তাকাইলে কিছুদূর রাস্তা জলসিক্ত বলিয়া মনে হয় যদিও প্রকৃতপক্ষে সেখানে কোন জল নাই। এরূপ হয় কেন?

18. পূর্ণ প্রতিফলনের সহায়তা লইয়া কোন রশ্মির (a) 90° এবং (b) 180° চ্যুতি করানো যায় কিরূপে? [*H. S. Exam. 1965*]

19. মরীচিকা কাহাকে বলে? সুন্দর নক্‌শার সাহায্যে মরীচিকা কিরূপে সৃষ্টি হয় তাহা বর্ণনা কর। [*H. S. (Comp). 1966,' 67*]

20. একটি স্থির জলাশয়ে h গভীরতায় একটি মাছ আছে। প্রমাণ কর যে মাছের চোখে জলতল একটি গোল ছিদ্রযুক্ত আয়নার ন্যায় প্রতিভাত হইবে এবং ঐ ছিদ্রের ব্যাসার্ধ হইবে $h\sqrt{\mu^2-1}$. জলের প্রতিসরাঙ্ক $=\mu$.

21. একটি জলাশয়ে 6 ফুট গভীরে এবং তীর হইতে 4·5 ফুট দূরে একটি ছোট মাছ আছে। 5 ফুট দীর্ঘ একটি বালক জলাশয়ের কিনারা হইতে 8 ফুট দূরে দাঁড়াইয়া আছে। বালকটি কিনারার দিকে কতখানি অগ্রসর হইলে, উহার নড়াচড়া মাছের ঠিক দৃষ্টিগোচর হইবে? জলাশয়ের ধার খাড়া ধরিয়া লইতে পারো। জলের $\mu=\frac{4}{3}$. [Ans. 1 ফুট 4 ইঞ্চি নিকটতর]

22. প্রিজম কাহাকে বলে? প্রিজমের কয়েকটি বিশেষ ব্যবহার উল্লেখ কর। 60° প্রতিসারক কোণ-বিশিষ্ট একটি প্রিজমের কোন তলে একটি আলোকরশ্মি লম্বভাবে আপতিত হইলে রশ্মিটির গতিপথ আঁকিয়া দেখাও। ধর, কাচের সংকট কোণ 42° এবং প্রিজমের দুইটি তল আছে।

23. একটি সমকোণী সমদ্বিবাহু কাচের প্রিজম দ্বারা কিরূপে একটি আলোকরশ্মির 90° চ্যুতি ঘটানো যায় তাহা চিত্র সহযোগে ব্যাখ্যা কর। ঐ রকম বরফের একটি প্রিজম দ্বারা উপরোক্ত ঘটনা সম্ভব নয় কেন তাহা ব্যাখ্যা কর। কাচ-বায়ুর সংকট কোণ $=41^\circ$, বরফ-বায়ুর সংকট কোণ $=50^\circ$.

24. ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ কাহাকে বলে? প্রতিসারক কোণ ও ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ দ্বারা প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়ের সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর।

25. একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং আলোকরশ্মি ঐ প্রিজমের ভিতর যে ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ উৎপন্ন করে তাহা 40°; প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত? যে সমীকরণের প্রয়োজন হইবে তাহা প্রতিষ্ঠা কর। [$\sin 50^\circ=0.766$.] [Ans. 1.53]

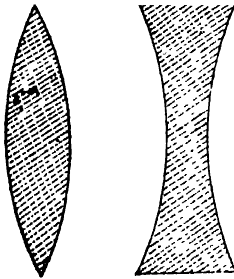
26. একটি কাচের প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 90° এবং অন্য দুইটি কোণ 45°, কোন আলোকরশ্মি প্রিজমের প্রতিসারক তলে লম্বভাবে আপতিত হইলে, কিভাবে প্রতিসৃত হইবে তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাও। ঐ ক্ষেত্রে চ্যুতি কত হইবে? উহা ব্যাখ্যা কর।

লেন্স ও উহার কার্যপ্রণালী

(Lenses and their actions)

4·1. **সূচনা ঃ** বহু পূর্বকাল হইতে লেন্সের ব্যবহারের প্রমাণ পাওয়া গিয়াছে। সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে একবিন্দুতে কেন্দ্রীভূত করিবার যে ক্ষমতা লেন্সের আছে তাহা বহু পূর্ব হইতেই জানা ছিল। লেন্সের এই ধর্মকে ব্যবহার করিয়া বহুশত বৎসর পূর্বে আতশী কাচের (burning glass) উদ্ভাবন হইয়াছে। 1857 খ্রীষ্টাব্দে লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া একটি কাচের গোলক নির্মিত হইয়াছিল। এই গোলক দ্বারা সূর্যরশ্মিকে কেন্দ্রীভূত করিয়া ঘণ্টা ও মিনিট চিহ্নিত একখানি একখানি কাগজ দগ্ধ করিয়া সময় নির্দেশ করিবার ব্যবস্থা করা হইয়াছিল। আধুনিক কালে চশমা, ক্যামেরা, অণুবীক্ষণ, দূরবীক্ষণ প্রভৃতি নানারকম প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতিতে লেন্সের বহুল ব্যবহার দেখিতে পাওয়া যায়।

4·2 **লেন্সের সংজ্ঞা ঃ** (Definition of lenses) : কোন স্বচ্ছ প্রতিসারক (refracting) মাধ্যমকে যদি দুইটি গোলীয় অথবা একটি গোলীয় ও একটি সমতল তল দ্বারা সীমাবদ্ধ করা যায়, তবে, সেই মাধ্যমকে **লেন্স** বলা হয়।



(*a*) চিত্র 4·1 (*b*)

যে-লেন্সের মধ্যস্থল মোটা এবং প্রান্তের দিকটা সরু তাহাকে **উত্তল** (convex) বা **অভিসারী** (converging) লেন্স বলে [4·1 (a) নং চিত্র]। যে লেন্সের মধ্যস্থল সরু এবং প্রান্তের দিকটা মোটা তাহাকে **অবতল** (concave) বা **অপসারী** (diverging) **লেন্স** বলে [4·1 (b) নং চিত্র]।

4·3 **বিভিন্ন প্রকারের লেন্স** (Different types of lenses) : লেন্সের দুই তলের আকৃতির উপর নির্ভর করিয়া বিভিন্ন প্রকার লেন্স তৈয়ারী করা যাইতে পারে। যথা ঃ—

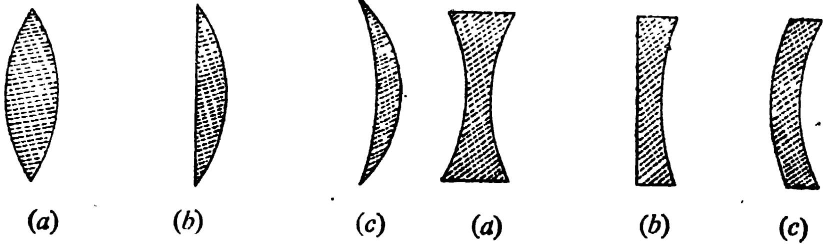
(1) **উভোত্তল** (Double or bi-convex) ঃ যে লেন্সের উভয়তল উত্তল তাহাকে উভোত্তল লেন্স বলে [4·2 (a) নং চিত্র]।

(2) **সমতলোত্তল** (Plano convex) ঃ যে লেন্সের একটি তল সমতল ও অপরটি উত্তল তাহাকে সমতলোত্তল লেন্স বলে [4·2 (b) নং চিত্র]।

(3) **অবতলোত্তল** (Concavo-convex) যে উত্তল লেন্সের এক দিক অবতল ও অন্যদিক উত্তল তাহাই অবতলোত্তল লেন্স [4·2 (c) নং চিত্র]।

(4) **উভাবতল** (Double or bi-concave) ঃ ইহার উভয়দিক অবতল [4·3 (*a*) নং চিত্র]।

(5) **সমতলাবতল** (Plano-concave) : এই লেন্সের একদিক সমতল এবং অপরদিক অবতল [4·3 (b) নং চিত্র]।

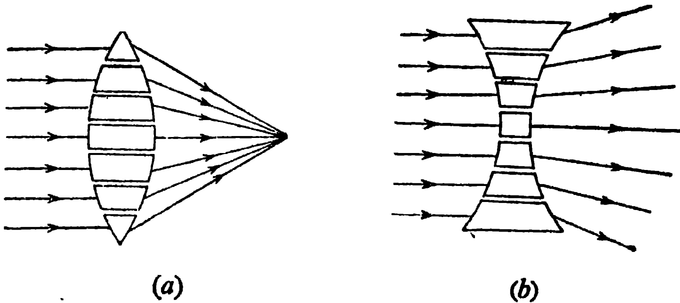


(*a*) (*b*) (*c*) (*a*) (*b*) (*c*)

চিত্র 4·2 চিত্র 4·3

(6) **উত্তলাবতল** (Convexo concave) ঃ যে অবতল লেন্সের একদিক উত্তল ও অন্যদিক অবতল তাহাই উত্তলাবতল লেন্স [4·3 (c) নং চিত্র]।

4·4 * উত্তল লেন্সকে অভিসারী ও অবতল লেন্সকে অপসারী বলা হয় কেন ? একটি উত্তল লেন্সকে 4·4 (a) নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে তেমনি ছোট ছোট প্রিজমের সমষ্টি বলিয়া মনে করা যাইতে পারে। এই প্রিজমগুলির ভূমি লেন্সের কেন্দ্রের দিকে অভিমুখী। আমরা জানি, আলোকরশ্মি কাচের প্রিজমের ভিতর দিয়া গেলে প্রিজমের ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায়। সুতরাং যদি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের উপর আপতিত হয় তবে ছোট ছোট প্রিজমের দ্বারা



(*a*) (*b*)

চিত্র 4·4

বিচ্যুত হইয়া রশ্মিগুলি একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হইবে অর্থাৎ রশ্মিগুলি অভিসারী হইবে [4·4(a) নং চিত্র দ্রষ্টব্য]। এইজন্য উত্তল লেন্সকে অভিসারী লেন্স বলা হয়।

ঠিক একইভাবে অবতল লেন্সকে ছোট ছোট প্রিজমে ভাগ করিলে প্রিজমগুলির ভূমি লেন্সের প্রান্তের অভিমুখী হইবে। সুতরাং, এক্ষেত্রে রশ্মিগুলির চ্যুতি বিপরীত হইবে [4·4 (*b*) নং চিত্র]। ফলে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর মনে হইবে যেন একটি বিন্দু হইতে

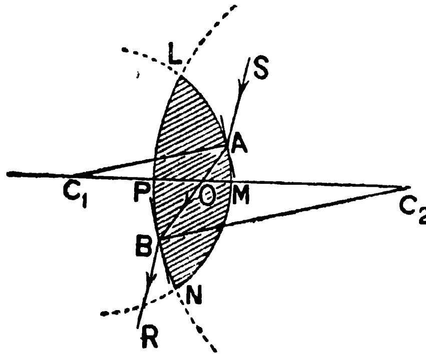
অপসৃত হইতেছে অর্থাৎ উহা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইবে। এই কারণে অবতল লেন্সকে অপসারী লেন্স বলা হয়।

4·5 লেন্স সংক্রান্ত কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা ঃ

(i) **বক্রতা-কেন্দ্র** (Centre of curvature) : লেন্সের উভয় তলই যদি গোলীয় হয় তবে উহারা প্রত্যেকে একটি নির্দিষ্ট গোলকের অংশ হইবে। ঐ গোলকের কেন্দ্রকে ঐ তলের বক্রতাকেন্দ্র বলা হয়। যেমন, LN লেন্সের উভয় তলই গোলীয় (4·5 নং চিত্র)। LMN যে গোলকের অংশ (কাটা লাইন দিয়া দেখানো হইয়াছে) উহার কেন্দ্র C_1; সুতরাং LMN তলের বক্রতা-কেন্দ্র হইবে C_1 বিন্দু। এইরূপ LPN তলের বক্রতা-কেন্দ্র হইল C_2 বিন্দু।

যদি লেন্সের কোন একটি তল গোলীয় না হইয়া সমতল হয় তবে উহার বক্রতা-কেন্দ্র অসীমে (infinity) অবস্থিত হইবে।

(ii) **বক্রতা-ব্যাসার্ধ** (Radius of curvature) : লেন্সের কোন তল যে গোলকের অংশ হইবে ঐ গোলকের ব্যাসার্ধকে ঐ তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ বলা হয়। LMN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ C_1M এবং LPN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ হইবে C_2P (4·5 নং চিত্র)।



চিত্র 4·5

(iii) **প্রধান অক্ষ** (Principal axis) : যদি লেন্সের দুই তল গোলীয় হয় তবে উক্ত তলদ্বয়ের বক্রতা-কেন্দ্র দুইটিকে সংযুক্ত করিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় উহাকে ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষ বলে। 4·5 নং চিত্রে C_1 এবং C_2 দুইতলের দুইটি বক্রতা-কেন্দ্র। সুতরাং C_1PMC_2 রেখা ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষ (4·5 নং চিত্র)।

যদি লেন্সের একটি তল গোলীয় এবং অপরটি সমতল হয় তবে গোলীয় তলের বক্রতা-কেন্দ্র হইতে সমতল তলের উপর লম্ব টানিলে উহাই হইবে ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষ।

(iv) **আলোক কেন্দ্র** (Optical centre) ঃ যদি কোন আলোকরশ্মি লেন্সের যে-কোন তলে এমনভাবে আপতিত হয় যে, লেন্সের ভিতর দিয়া গিয়া দ্বিতীয় তল হইতে নির্গত হইবার সময় উহা আপতিত রশ্মির সমান্তরালভাবে নির্গত হয় তবে লেন্সের ভিতর ঐ রশ্মির গতিপথ প্রধান অক্ষকে যে-বিন্দুতে ছেদ করে সেই বিন্দুকে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র বলে। 4.5 নং চিত্রে SA একটি আলোকরশ্মি LMN তলে A বিন্দুতে আপতিত হইয়া লেন্সের ভিতরে AB পথে গমন করিল এবং BR পথে দ্বিতীয় তল হইতে SA অভিমুখের সমান্তরালভাবে নির্গত হইল। এক্ষেত্রে AB এবং প্রধান অক্ষ C_1C_2—এই রেখাদ্বয়ের ছেদ-বিন্দু O হইবে লেন্সের

এখানে একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য যে, আপতিত রশ্মি SA এবং নির্গম (emergent) রশ্মি BR পরস্পরের সমান্তরাল বটে কিন্তু উহারা পরস্পর হইতে খানিকটা পাশে সরিয়া যায়—এক লাইনে থাকে না। এই পার্শ্ব-সরণ লেন্স মোটা হইলে বাড়িয়া যায় এবং লেন্স সরু হইলে কমিয়া যায়। খুব সরু লেন্সের বেলাতে এই পার্শ্ব-সরণ এতই নগণ্য যে SA, AB এবং BR একই সরলরেখা বলিয়া ধরা যাইতে পারে। এই কারণে সরু লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেওয়া হয় ঃ—

সরু লেন্সের বেলাতে আলোক-কেন্দ্র ইহার প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত এমন এক বিন্দু যে উহার ভিতর দিয়া কোন আলোকরশ্মি গেলে উহার কোন চ্যুতি বা সরণ হয় না—উহা সোজা পথে লেন্সের ভিতর দিয়া চলিয়া যায়।

[দ্রষ্টব্য ঃ যদি লেন্সের উভয় তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ সমান হয় তবে আলোক-কেন্দ্র উভয়তল হইতে সমদূরবর্তী হইবে। যদি বক্রতা-ব্যাসার্ধ সমান না হয় অথবা কোন তল সমতল হয় তবে আলোক-কেন্দ্র উভয় তল হইতে সমদূরবর্তী হইবে না।]

আলোক-কেন্দ্র একটি স্থির বিন্দু (Optical centre is a fixed point) ঃ যে কোন লেন্সের আলোক কেন্দ্র লেন্সের আকৃতির উপর নির্ভর করিয়া একটি নির্দিষ্ট স্থানে অবস্থিত হইবে—অর্থাৎ ইহা একটি স্থির বিন্দু। নিম্নলিখিত উপায়ে ইহা প্রমাণ করা যায় ঃ

4.5 নং চিত্রে A ও B বিন্দুতে উভয় পৃষ্ঠে একটি করিয়া স্পর্শক-তল (tangent plane) টান। ঐ তলদ্বয় পরস্পরের সমান্তরাল হইবে ; কারণ, আমরা জানি সমান্তরাল তলবিশিষ্ট কাচফলক দ্বারা রশ্মি প্রতিসৃত হইলে আপতিত রশ্মি ও নির্গম রশ্মি সমান্তরাল হয়। এক্ষেত্রে আপতিত রশ্মি SA এবং নির্গম রশ্মি BR সমান্তরাল হওয়ায় ঐ অংশকে সমান্তরাল তল বিশিষ্ট কাচ ফলক বলিয়া মনে করা যাইতে পারে। কাজেই A এবং B বিন্দুতে স্পর্শক-তলদ্বয় পরস্পরের সমান্তরাল হইবে। C_1A এবং C_2B সরল রেখাদ্বয় টান। C_1A হইল LMN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ এবং A বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক তলের লম্ব। অনুরূপভাবে, C_2B হইল LPN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ এবং B বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক তলের লম্ব। সুতরাং C_1A এবং C_2B পরস্পরের সমান্তরাল। এই সকল কারণের জন্য C_1AO এবং C_2BO ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ (similar)।

কাজেই, $\frac{OC_1}{OC_2}=\frac{C_1A}{C_2B}=\frac{C_1M}{C_2P}$ [$C_1A=C_1M$ কারণ, একই গোলকের ব্যাসার্ধ]

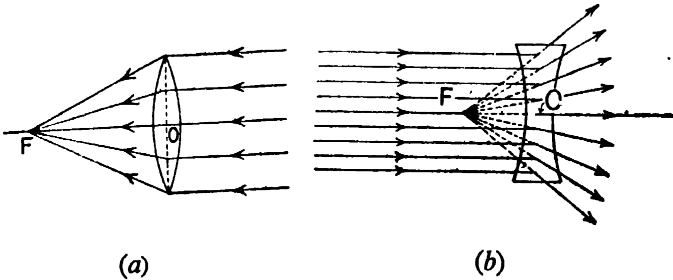
$\therefore \frac{C_1M-OC_1}{C_2P-OC_2}=\frac{C_1M}{C_2P}$ [$C_2B=C_2P$,, ,, ,, ,,]

অথবা, $\frac{OM}{OP}=\frac{C_1M}{C_2P}$

যদি LMN তলের বক্রতা ব্যাসার্ধ r_1 এবং LPN তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ r_2 হয় তবে $C_1M=r_1$ এবং $C_2P=r_2$ সেক্ষেত্রে, $\frac{OM}{OP}=\frac{r_1}{r_2}$

অর্থাৎ, আলোক-কেন্দ্র O-বিন্দু PM সরলরেখাকে এমন দুই অংশে ভাগ করিতেছে যাহাদের অনুপাত r_1 এবং r_2-এর অনুপাতের সমান। কিন্তু বক্রতা-ব্যাসার্ধ দুইটি ধ্রুবক; কাজেই O বিন্দুর অবস্থানও ধ্রুবক—অর্থাৎ ইহা একটি স্থির বিন্দু।

(v) **মুখ্য ফোকাস** (Principal focus) ঃ আমরা দেখিয়াছি কোন সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরালে আসিয়া লেন্সের উপর আপতিত হইলে



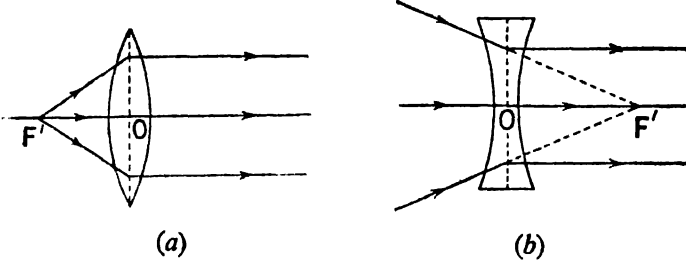
চিত্র 4·6

প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী অথবা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইলে (উত্তল লেন্সের বেলাতে) উহারা অক্ষের উপর অবস্থিত কোন এক বিন্দুতে মিলিত হয় এবং অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইলে (অবতল লেন্সের বেলাতে) অক্ষের উপর অবস্থিত কোন এক বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় [4.6 (*a*) এবং (*b*) নং চিত্র]। উক্ত বিন্দুকে উক্ত লেন্সের মুখ্য ফোকাস বলা হয়। 4.6 নং চিত্রে F বিন্দু লেন্সের মুখ্য ফোকাস। এখানে উল্লেখযোগ্য যে লেন্সের দুইটি মুখ্য ফোকাস থাকে। উপরে যে মুখ্য ফোকাসের কথা বলা হইল উহাকে **দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস** (second principal focus) বলা হয়। ইহা ছাড়া আরও একটি মুখ্য ফোকাস আছে—ইহার ব্যাখ্যা নিম্নে করা হইল। ইহাকে **প্রথম মুখ্য ফোকাস** (first principal focus) বলে।

মনে কর, একটি উত্তল-লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর F′ এমনই একটি বিন্দু যে উহা হইতে একগুচ্ছ রশ্মি অপসৃত হইয়া লেন্সের উপর আপতিত হইল এবং প্রতিসরণের পর রশ্মিগুচ্ছ প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে নির্গত হইল [4.7 (*a*) নং চিত্র]। এক্ষেত্রে F′ বিন্দুকে উত্তল-লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস বলা যাইবে।

তেমনি, যদি একগুচ্ছ রশ্মিকে এমনভাবে একটি অবতল লেন্সের দিকে পাঠানো হয় যে, লেন্সের অবর্তমানে উহারা লেন্সের প্রধান অক্ষস্থিত একটি বিন্দু F′-এ মিলিত হইত, কিন্তু লেন্সের

কর্তৃক প্রতিসরণের ফলে উহারা প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে নির্গত হইল, তাহা হইলে F′ বিন্দুকে অবতল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাস বলিয়া গণ্য করা হইবে [4.7 (*b*) নং চিত্র]।



(*a*) (*b*)

চিত্র 4·7

[দ্রষ্টব্য ঃ লেন্সের দুইটি মুখ্য ফোকাস থাকিলেও প্রতিবিম্ব গঠন সম্পর্কে দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস কার্যকর হয়। এই কারণে সাধারণভাবে ফোকাস বা মুখ্য ফোকাস বলিতে দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসকেই বুঝায়।]

(vi) **ফোকাস-দূরত্ব** (Focal length) ঃ লেন্সের আলোক কেন্দ্র O হইতে প্রধান অক্ষ বরাবর যে-কোন মুখ্য ফোকাস F অথবা F′ পর্যন্ত দূরত্বকে ফোকাস-দূরত্ব বলে।

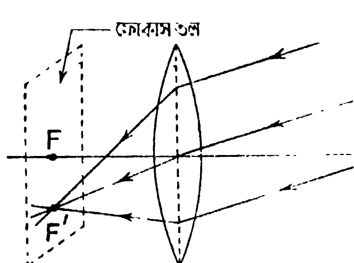
তবে, **মনে রাখিতে হইবে** যে লেন্সের উভয় পার্শ্বের মাধ্যম এক না হইলে O বিন্দু হইতে F এবং F′-এর দূরত্ব সমান হইবে না। সেক্ষেত্রে প্রথম মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে প্রথম ফোকাস-দূরত্ব (first focal length) এবং দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে দ্বিতীয় ফোকাস-দূরত্ব (second focal length) বলা যাইবে। প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব সদ্ কিন্তু অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব অসদ।

(vii) **ফোকাস-তল** (Focal plane) ঃ কোন লেন্সের মুখ্য ফোকাসের ভিতর দিয়া এবং প্রধান অক্ষের সহিত লম্বভাবে একটি তল (plane) কল্পনা করিলে উহাকে লেন্সের ফোকাস-তল বলা হয়।

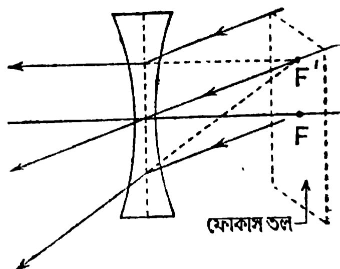
(viii) **গৌণ ফোকাস** (Secondary focus) ঃ যদি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত সামান্য কোণ করিয়া লেন্সের উপর আপতিত হয় তবে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় এবং ফোকাস-তলে কোন এক বিন্দুতে মিলিত হয়। 4·8(*a*) নং চিত্রে F উত্তল লেন্সের মুখ্য-ফোকাস এবং কাটা লাইন দিয়া ফোকাস তল দেখানো হইয়াছে। প্রধান অক্ষের সহিত আনত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর F′ বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। F′ উত্তল লেন্সের গৌণ ফোকাস।

তেমনি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি একটি অবতল লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত সামান্য কোণ করিয়া লেন্সের উপর আপতিত হইলে প্রতিসরণের ফলে রশ্মিগুচ্ছ অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় এবং ফোকাস-তলে অবস্থিত কোন এক বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। 4·8(*b*) নং চিত্রে F অবতল লেন্সের মুখ্য ফোকাস এবং কাটা-কাটা লাইন দিয়া ফোকাস-তল দেখানো

হইয়াছে। সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর F′ বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। F′ হইবে অবতল লেন্সের গৌণ ফোকাস।



(*a*)



(*b*)

চিত্র 4·8

মনে রাখিতে হইবে, লেন্সের (উত্তল অথবা অবতল) মুখ্য ফোকাস স্থির বিন্দু—কিন্তু গৌণ ফোকাস স্থির বিন্দু নয়।

(ix) **উন্মেষ** (Aperture) ঃ লেন্সের আকার গোল। তাই সাধারণভাবে লেন্সের ব্যাসকে উহার উন্মেষের পরিমাপ বলিয়া ধরা হয়।

এই পুস্তকে যে সকল লেন্স সম্বন্ধে আলোচনা করা হইবে উহার উন্মেষ ছোট অর্থাৎ আকারে উহারা ছোট এবং উহারা খুব সরু বলিয়া ধরা হইবে।

4·6. জ্যামিতিক উপায়ে প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় (Determination of the postition of image by geometrical construction) ঃ

লেন্সের অক্ষস্থিত কোন বিস্তৃত লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে তাহা জ্যামিতিক উপায়ে নির্ণয় করিবার জন্য লেন্সের নিম্নলিখিত গুণাগুণ মনে রাখিতে হইবে।

(i) কোন রশ্মি যদি উত্তল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাসের ভিতর দিয়া অগ্রসর হয় অথবা অবতল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকাসের দিকে অগ্রসর হয় তবে লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর উহা লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে চলিয়া যাইবে।

(ii) কোন রশ্মি যদি লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে অগ্রসর হইয়া লেন্সের উপর আপতিত হয় তবে প্রতিসরণের পর উত্তল লেন্সের বেলাতে রশ্মি দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসের ভিতর দিয়া যাইবে এবং অবতল লেন্সের বেলাতে রশ্মি দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে।

(iii) কোন রশ্মি লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অগ্রসর হইলে, রশ্মির কোন বিচ্যুতি হইবে না—রশ্মি সরাসরি একই পথে চলিয়া যাইবে।

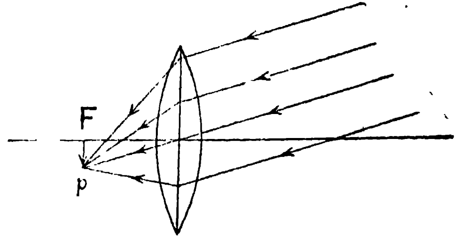
উপরোক্ত তিনটি রশ্মির ভিতর যেকোন দুইটি রশ্মি ব্যবহার করিয়া প্রতিবিম্ব আঁকা যায়, তবে কোন্ দুইটি রশ্মি লইতে হইবে তাহা অবস্থার উপর নির্ভর করে। চিত্র নং 4·9—4·15 চিত্রগুলিতে এই পদ্ধতির প্রয়োগ দেখানো হইয়াছে।

4·7. বস্তু-দূরত্বের বিভিন্নতায় বিভিন্ন প্রতিবিম্বের গঠন (Formation of different images due to different object distances) ঃ

বস্তু-দূরত্ব বিভিন্ন হইলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকৃতি বিভিন্ন হয়। লক্ষ্যবস্তুকে বহুদূর হইতে লেন্সের খুব কাছে আনিলে প্রতিবিম্বের কিরূপ পরিবর্তন হয় জ্যামিতিক উপায়ে নিম্নে তাহার আলোচনা করা হইল।

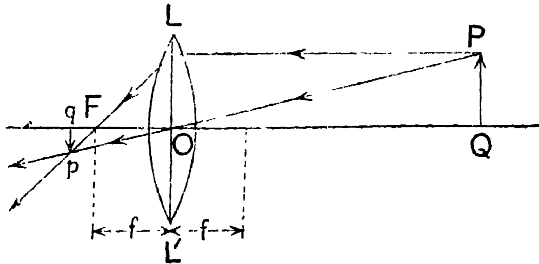
(ক) **উত্তল লেন্স ঃ**

(1) **লক্ষ্যবস্তু অসীমে অবস্থিত** (Object at infinity) ঃ লক্ষ্যবস্তু অসীমে অবস্থিত হইলে তাহা হইতে যে-রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হয় তাহারা পরস্পর সমান্তরাল ধরিয়া লওয়া যাইতে পারে। এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত সামান্য আনত (inclined) হইয়া লেন্সে আপতিত হইলে প্রতিসরণের পর ফোকাস-তলে (focal plane) অবস্থিত কোন বিন্দু p-তে মিলিত হইবে (গৌণ ফোকাসের সংজ্ঞা দ্রষ্টব্য)। সুতরাং প্রতিবিম্ব লেন্সের ফোকাস-তলে অবস্থিত হইবে [4·9 নং চিত্র]। এই প্রতিবিম্ব সদ, অবশীর্ষ ও খুব ছোট হইবে। উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য (objective) তৈয়ারী হয়।



চিত্র 4·9

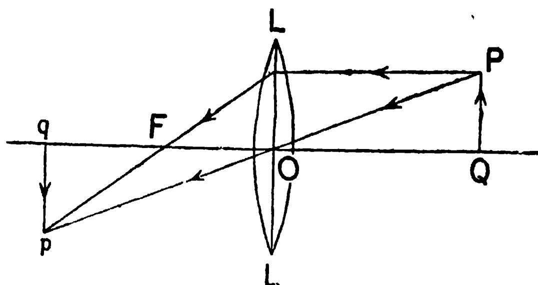
(2) **লক্ষ্যবস্তু লেন্স হইতে $2f$ এর বেশি দূরে অবস্থিত ঃ** PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [4·10 নং চিত্র]। P বিন্দু হইতে PL ও PO রশ্মি নির্গত হইয়া লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত



চিত্র 4·10

হইবার পর p বিন্দুতে মিলিত হয়। p বিন্দু হইতে অক্ষের উপর pq লম্ব টানিলে PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব মিলিবে। চিত্র হইতে বোঝা যায় যে এই প্রতিবিম্ব f এবং $2f$-এর মাঝে অবস্থিত। ইহা সদ, অবশীর্ষ এবং বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর। উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে ক্যামেরায় কার্যকর করা হয়।

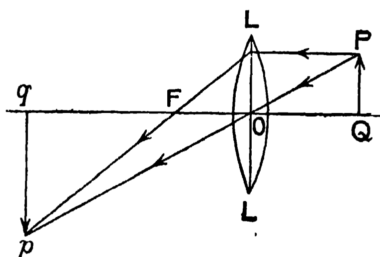
(3) **লক্ষ্যবস্তু লেন্স হইতে $2f$ দূরে অবস্থিত :** 4·11 নং চিত্র হইতে বোঝা যায় যে প্রতিবিম্বও লেন্স হইতে $2f$ দূরে অবস্থিত। এই প্রতিবিম্ব সদ্, অবশীর্ষ কিন্তু বস্তুর আকারের



চিত্র 4·11

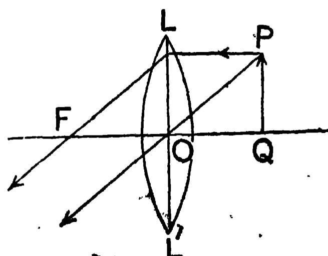
সমান। এইরূপ লেন্স ভৌম দূরবীক্ষণ (terrestrial telescope) যন্ত্রে অবশীর্ষ প্রতিবিম্বকে সমশীর্ষ করিবার জন্য ব্যবহৃত হয়।

(4) **লক্ষ্যবস্তু লেন্স হইতে f এবং $2f$-এর মাঝে অবস্থিত :** PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [4·12 নং চিত্র]। ঐ বস্তুর প্রতিবিম্ব জ্যামিতিক পদ্ধতিতে নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে, প্রতিবিম্ব $2f$ হইতে দূরে অবস্থিত। এই প্রতিবিম্ব সদ্, অবশীর্ষ কিন্তু বস্তু অপেক্ষা আকারে বড়। লেন্সের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া ম্যাজিক লণ্ঠন, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য প্রভৃতি যন্ত্র তৈয়ারী করা হয়।



চিত্র 4·12

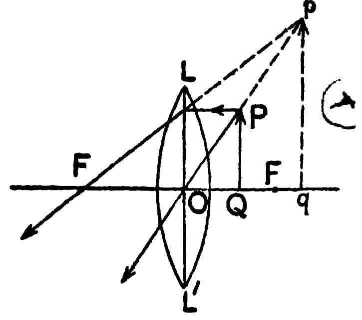
(5) **লক্ষ্যবস্তু ফোকাসে অবস্থিত :** 4·13 নং চিত্র PQ একটি বস্তু লেন্সের ফোকাসে অবস্থিত। এই অবস্থায় লক্ষ্যবস্তু হইতে নির্গত আলোকরশ্মি লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইবে এবং অসীমে প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। এই প্রতিবিম্ব অতিশয় বর্ধিত। যে সমস্ত যন্ত্রে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ তৈয়ারী করিতে হয়,—যেমন—বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র (spectrometer)—সেখানে উত্তল লেন্সকে এইভাবে ব্যবহার করিতে হয়।



চিত্র 4·13

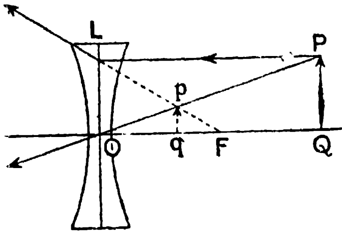
(6) **লক্ষ্যবস্তু f ও লেন্সের মধ্যে অবস্থিত :** 4·14 নং চিত্রে PQ লক্ষ্যবস্তু

লেন্সের ফোকাস দূরত্বের ভিতরে অবস্থিত। এস্থলে P বিন্দু হইতে রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হইয়া লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর কোথাও মিলিত হয় না। কিন্তু পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করিলে মনে হয় p বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং p বিন্দু হইবে P বিন্দুর অসদ্ বিম্ব। pq হইবে সমগ্র অসদ্ বিম্ব। চিত্র হইতে বোঝা যায় লক্ষ্যবস্তু যেদিকে এই বিম্ব সেইদিকে গঠিত হয়; ইহা অসদ্, সমশীর্ষ ও লক্ষ্যবস্তু অপেক্ষা আকারে বড়। লেন্সের এই ব্যবহারকে কার্যকর করিয়া বিবর্ধক কাচ (magnifying glass), অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্র (eye-piece) তৈয়ারী হয়।



চিত্র 4·14

(খ) **অবতল লেন্স** : এক্ষেত্রে লক্ষ্যবস্তু যেখানেই অবস্থিত হউক না কেন প্রতিবিম্বের আকৃতি ও প্রকৃতি অপরিবর্তিত থাকে। প্রতিবিম্ব সর্বদা অসদ্, সমশীর্ষ ও লক্ষ্যবস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইবে এবং লেন্সের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত হইবে। 4·15 নং চিত্রে অবতল লেন্স কর্তৃক এই প্রতিবিম্ব গঠন দেখানো হইয়াছে।



চিত্র 4·15

4·8. চিহ্নের নিয়ম (Convention of sign) : বিভিন্ন স্থানে লক্ষ্যবস্তু লইয়া বিভিন্ন প্রতিবিম্ব গঠনের যে আলোচনা পূর্ব অনুচ্ছেদে করা হইল তাহা হইতে দেখা যায় যে প্রতিবিম্ব কখন কখন লক্ষ্যবস্তু যেদিকে সেইদিকে হইতেছে—কখন বা বিপরীত দিকে হইতেছে। সুতরাং বিভিন্ন বস্তু-দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব-দূরত্ব বিবেচনা করিতে গেলে উহাদের যথোপযুক্ত চিহ্ন (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক) দিয়া লইতে হইবে। এই চিহ্ন দিবার নিয়ম নিম্নরূপ :

লক্ষ্যবস্তু দূরত্ব, প্রতিবিম্ব দূরত্ব অথবা ফোকাস দূরত্ব মাপিতে গেলে সর্বদা লেন্সের আলোক-কেন্দ্র হইতে মাপিতে হইবে। আলোক-কেন্দ্র হইতে লক্ষ্যবস্তু, ফোকাস অথবা প্রতিবিম্বের দিকে অগ্রসর হইবার সময় যদি আপতিত আলোক-রশ্মির অভিমুখের **বিপরীত** দিকে যাইতে হয় তবে উক্ত দূরত্ব **ধনাত্মক** (positive) ধরা হইবে এবং যদি আপতিত আলোকরশ্মির অভিমুখের দিকে যাইতে হয় তবে উক্ত দূরত্ব **ঋণাত্মক** (negative) হইবে।

4·6(a) নং চিত্রে উত্তল লেন্সের ফোকাস দেখান হইয়াছে। এখানে ফোকাস-দূরত্ব O হইতে F পর্যন্ত। কিন্তু O হইতে F পর্যন্ত যাইতে গেলে আপতিত আলোর অভিমুখের দিকে যাইতে হয়। সুতরাং, এই দূরত্ব ঋণাত্মক। কিন্তু অবতল লেন্সের বেলাতে O হইতে F পর্যন্ত যাইতে

গেলে আপতিত আলোর অভিমুখের বিপরীত দিকে যাইতে হয় [4·6(*b*) নং চিত্র]। সুতরাং অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব ধনাত্মক।

1934 খ্রীষ্টাব্দে লণ্ডনস্থ ফিজিক্যাল সোসাইটি চিহ্নের নিয়ম সম্পর্কে একটি নতুন সুপারিশ করিয়াছেন। এই নতুন নিয়মটি নিম্নরূপ ঃ—

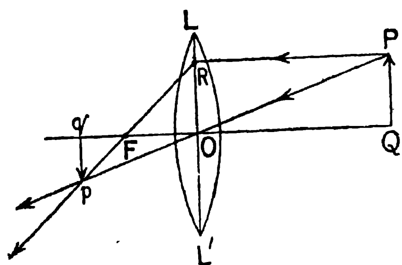
(1) সদ্‌বস্তু, সদ্‌প্রতিবিম্ব বা সদ্ ফোকাসের দূরত্বকে ধনাত্মক (+) ধরা হইবে।

(2) অসদ্ বস্তু, অসদ্ প্রতিবিম্ব বা অসদ্ ফোকাসের দূরত্বকে ঋণাত্মক (—) ধরা হইবে।

এই নতুন নিয়মানুযায়ী উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ধনাত্মক ও অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ঋণাত্মক হইবে। এই পুস্তকে পুরাতন নিয়ম ব্যবহার করা হইয়াছে।

4·9. লেন্সের সাধারণ সূত্র (General formula for lenses) ঃ

লেন্স কোন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করিলে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র O হইতে লক্ষ্যবস্তু পর্যন্ত দূরত্বকে বস্তু দূরত্ব (object distance) এবং প্রতিবিম্ব পর্যন্ত দূরত্বকে প্রতিবিম্ব দূরত্ব (image distance) বলা হয়। সাধারণত বস্তু-দূরত্বকে '*u*' অক্ষর দ্বারা, প্রতিবিম্ব দূরত্বকে '*v*' অক্ষর দ্বারা এবং লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে '*f*' অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হয়। এই রাশিগুলি পরস্পরের সহিত সম্পর্কযুক্ত এবং এই সম্পর্ককে লেন্সের সাধারণ সূত্র বলা হয়। নিম্নলিখিত উপায়ে উত্তল এবং অবতল লেন্সের সাধারণ সূত্রের প্রতিষ্ঠা করা যায়।



চিত্র 4·16(a)

(i) উত্তল লেন্স ও সদ্‌বিম্ব ঃ 4·16(*a*) চিত্র দেখ। LOL' একটি সরু ও ছোট উত্তল লেন্স। লেন্সের সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত PQ একটি লক্ষ্যবস্তু। 4·6 অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী প্রতিবিম্ব *pq* অঙ্কন করা হইয়াছে। প্রতিবিম্ব সদ্ ও অবশীর্ষ।

এখন *pq*F এবং RFO ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ। কাজেই,

$$\frac{pq}{Fq}=\frac{RO}{OF}=\frac{PQ}{OF}\quad [\because PQ=RO] \therefore \frac{pq}{PQ}=\frac{Fq}{OF} \quad .. \quad (i)$$

আবার, *pq*O এবং QPO ত্রিভুজ দুইটিও সদৃশ।

$$\text{সুতরাং } \frac{pq}{Oq}=\frac{PQ}{OQ}, \therefore \frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ} \qquad (ii)$$

(i) এবং (ii) সমীকরণ দুইটি তুলনা করিয়া লেখা যাইতে পারে যে

$$\frac{Fq}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \quad \text{অথবা,} \quad \frac{Oq-OF}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \qquad (iii)$$

4·16(*a*) চিত্রানুযায়ী, বস্তু-দূরত্ব→$OQ=+u$

প্রতিবিম্ব-দূরত্ব→$Oq=-v$

ফোকাস-দূরত্ব→$OF=-f$

(iii) নং সমীকরণে ইহা বসাইলে আমরা পাই, $\frac{-v-(-f)}{-f}=\frac{-v}{u}$

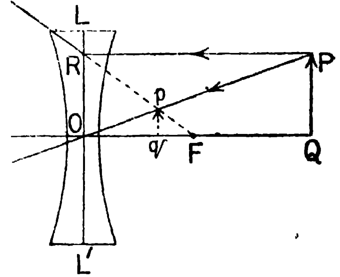
অথবা, $\frac{f-v}{-f}=\frac{-v}{u}$ অথবা, $uf-uv=vf$

সমীকরণের উভয়দিক একই রাশি uvf দ্বারা ভাগ করিলে,

$\frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u}$ অথবা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

ইহাই হইল লেন্সের সাধারণ সূত্র।

(ii) **অবতল লেন্স ও অসদ্ বিম্ব**: 4·16(*b*) নং চিত্রে LOL' একটি সরু ও ছোট অবতল লেন্স। লেন্সের সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত PQ একটি লক্ষ্যবস্তু। 4·6 অনুচ্ছেদে বর্ণিত পদ্ধতি অনুসারে প্রতিবিম্ব pq অঙ্কিত করা হইয়াছে। এই প্রতিবিম্ব অসদ্ ও সমশীর্ষ।



চিত্র 4·16(b)

এখন, pqF এবং RFO ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ। কাজেই,

$$\frac{pq}{qF}=\frac{RO}{OF}=\frac{PQ}{OF}\quad [\because PQ=RO]$$

$$\frac{pq}{PQ}=\frac{qF}{OF}\quad \text{(i)}$$

আবার pqO এবং QPO ত্রিভুজ দুইটিও সদৃশ। সুতরাং

$$\frac{pq}{Oq}=\frac{PQ}{OQ}\quad \therefore \frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}\cdots \text{(ii)}$$

(i) এবং (ii) সমীকরণ দুইটি তুলনা করিয়া লেখা যাইতে পারে,

$$\frac{qF}{OF}=\frac{Oq}{OQ}\quad \text{অথবা,}\quad \frac{OF-Oq}{OF}=\frac{Oq}{OQ}\quad \cdots \text{(iii)}$$

4·16 (*b*) চিত্রানুযায়ী, বস্তু দূরত্ব → $OQ=+u$

প্রতিবিম্ব দূরত্ব → $Oq=+v$

ফোকাস-দূরত্ব → $OF=+f$

(iii) নং সমীকরণে ইহা বসাইলে আমরা পাই

$$\frac{f-v}{f}=\frac{v}{u} \text{ অথবা, } uf-uv=vf$$

সমীকরণের উভয়দিক একই রাশি uvf দ্বারা ভাগ করিলে,

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u} \text{ অথবা, } \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

4.10 **রৈখিক বিবর্ধন** (Linear magnification) : লেন্স দ্বারা লক্ষ্যবস্তুর যে-প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা লক্ষ্যবস্তুর অবস্থানের উপর নির্ভর করিয়া বস্তু অপেক্ষা বড় বা ছোট হইতে পারে—অর্থাৎ লেন্সের বিবর্ধন ক্ষমতা (magnifying power) আছে। রৈখিক বিবর্ধন বলিতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য ও লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্যের অনুপাত বুঝায়। অর্থাৎ,

$$\text{রৈখিক বিবর্ধন } (m)=\frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্য}}$$

$$4.16 \ (a) \text{ নং চিত্রে } m=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{v}{u}$$

$$\text{তেমনি, } 4.16 \ (b) \text{ নং চিত্রে } m=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{v}{u}$$

$$\text{সুতরাং যে-কোন লেন্সের বেলায় রৈখিক বিবর্ধন } m=\frac{v}{u}=\frac{\text{প্রতিবিম্ব-দূরত্ব}}{\text{বস্তু দূরত্ব}}$$

4.16 (a) নং চিত্রে, উত্তল লেন্সের বেলাতে চিহ্নের নিয়মানুযায়ী u ধনাত্মক কিন্তু v ঋণাত্মক এবং চিত্রানুযায়ী প্রতিবিম্ব অবশীর্ষ। আবার, 4.16 (b) নং চিত্রে অবতল লেন্সের বেলাতে u এবং v উভয়েই ধনাত্মক এবং চিত্রানুযায়ী প্রতিবিম্ব সমশীর্ষ। সুতরাং আমরা বলিতে পারি, **বিবর্ধন ঋণাত্মক হইলে অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব বুঝাইবে এবং ধনাত্মক হইলে সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব বুঝাইবে।**

Examples : (1) একটি লক্ষ্যবস্তুকে কোন উত্তল লেন্স হইতে যথাক্রমে (a) 50 সে. মি. ও (b) 15 সে. মি. দূরে রাখা হইল। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 20 সে. মি. হইলে প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে? প্রতিবিম্বের সরণ কত হইবে? লক্ষ্যবস্তুর সাইজ 2 সে. মি. হইলে প্রতিবিম্বদ্বয়ের সাইজ কত হইবে?

উ। (a) এস্থলে $u=+50$ সে. মি. ; $f=-20$ সে. মি. (উত্তল লেন্স)

$$\text{আমরা জানি, } \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \text{ এক্ষেত্রে } \frac{1}{v}-\frac{1}{50}=-\frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{20}+\frac{1}{50}=\frac{-3}{100} \text{ or, } v=-\frac{100}{3}=-33.3 \text{ সে. মি.}$$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব লেন্স হইতে লক্ষ্যবস্তুর বিপরীত দিকে (ঋণাত্মক চিহ্নের জন্য) 33.3 সে. মি. দূরে অবস্থিত।

$$\text{এক্ষেত্রে বিবর্ধন } m = \frac{v}{u} = \frac{\frac{100}{3}}{50} = \frac{2}{3}$$

$\therefore$ প্রতিবিম্বের সাইজ = লক্ষ্যবস্তুর সাইজ $\times$ বিবর্ধন $= 2 \times \frac{2}{3} = 1 \cdot 33$ সে. মি.

(b) এক্ষেত্রে $u = +15$ সে. মি.; $f = -20$ সে. মি.

লেন্সের সূত্রানুযায়ী, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ এক্ষেত্রে $\frac{1}{v} - \frac{1}{15} = -\frac{1}{20}$

or, $\frac{1}{v} = -\frac{1}{20} + \frac{1}{15} = \frac{1}{60}$ $\therefore$ $v = +60$ সে. মি,

অর্থাৎ, লক্ষ্যবস্তু যেদিকে প্রতিবিম্ব লেন্সের সেইদিকে (ধনাত্মক চিহ্নের জন্য) 60 সে. মি. দূরে অবস্থিত।

$$\text{এক্ষেত্রে বিবর্ধন, } m = \frac{v}{u} = \frac{60}{15} = 4.$$

$\therefore$ প্রতিবিম্বের সাইজ = লক্ষ্যবস্তুর সাইজ $\times$ বিবর্ধন $= 2 \times 4 = 8$ সে. মি.

প্রতিবিম্বের সরণ $= 33 + 60 = 93$ সে. মি.।

(2) একটি বিন্দু প্রভবকে লেন্স হইতে 30 সে. মি. দূরে রাখিলে বস্তুর বিপরীত দিকে এবং লেন্স হইতে 10 সে. মি. দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেন্সটি কি ধরনের? উহার ফোকাস-দূরত্ব কত?

উ। যেহেতু প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর বিপরীত দিকে হইতেছে কাজেই প্রতিবিম্ব সদ্ এবং লেন্স উত্তল। কারণ, উত্তল লেন্স ছাড়া অবতল লেন্স কখনও সদ্ বিম্ব গঠন করিতে পারে না। এস্থলে $u = 30$ সে. মি. $v = -10$ সে. মি. (সদ্ বিম্ব); $f = ?$

আমরা জানি, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ $\therefore -\frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{1}{f}$

or, $-\frac{4}{30} = \frac{1}{f}$ $\therefore f = -\frac{30}{4} = -7 \cdot 4$ সে. মি.

(3) একটি 5 সে. মি. দীর্ঘ বস্তু উত্তল লেন্সের সম্মুখে খাড়া করা হইল। উহার 25 সে. মি. দীর্ঘ একটি প্রতিবিম্ব লেন্স হইতে 100 সে. মি. দূরে অবস্থিত একখানি পর্দার উপর গঠিত হইল। লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় কর।

উ। এস্থলে বিবর্ধন $m = \frac{25}{5} = 5$ কিন্তু $m = \frac{v}{u} = 5$ or, $v = 5u$

আবার $v=100$ সে. মি. $\therefore$ $u=20$ সে. মি.

এখন, প্রতিবিম্ব সদ্ হওয়ায় (পর্দায় পড়িতেছে বলিয়া) উহার দূরত্ব ঋণাত্মক। সতরাং এক্ষেত্রে $v=-100$ সে. মি. ; $u=20$ সে. মি. ; $f=$?

লেন্সের সূত্র হইতে $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ or, $-\frac{1}{100}-\frac{1}{20}=\frac{1}{f}$ or, $-\frac{6}{100}=\frac{1}{f}$

$$\therefore\ f=-\frac{100}{6}=-\frac{50}{3}=-16{\cdot}6 \text{ সে. মি.।}$$

(4) 10 সে. মি. ফোকাস-দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স হইতে 30 সে. মি. দূরে একটি বস্তু আছে। উহার প্রতিবিম্ব কোথায় হইবে? প্রতিবিম্বের প্রকৃতি কি হইবে? প্রতিবিম্বের বিবর্ধন কি হইবে? [*H. S. Exam. 1961*]

উ। এক্ষেত্রে, $u=+30$ সে. মি. ; $f=-10$ সে. মি. (লেন্স উত্তল বলিয়া) ; $v=$?

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অতএব, $\frac{1}{v}-\frac{1}{30}=-\frac{1}{10}$

or, $\frac{1}{v}=\frac{1}{30}-\frac{1}{10}=-\frac{2}{30}=-\frac{1}{15}$ $\therefore v=-15$ সে. মি.।

অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব লেন্সের অপর পার্শ্বে 15 সে. মি. দূরে হইবে। অপর পার্শ্বে হওয়ার দরুন প্রতিবিম্ব সদ্ এবং অবশীর্ষ। এখন, বিবর্ধন $m=\frac{v}{u}=\frac{15}{30}=\frac{1}{2}$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বস্তুর দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হইবে।

(5) একটি লেন্স হইতে 50 সে.মি. দূরে লক্ষ্যবস্তু রাখিলে লেন্সের অপর পার্শ্বে 200 সে.মি. দূরে উহার প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেন্স হইতে লক্ষ্যবস্তুকে 10সে. মি. দূরে সরাইয়া লইলে প্রতিবিম্বের কত সরণ হইবে নির্ণয় কর।

উ। যেহেতু প্রতিবিম্ব লেন্সের অপর পার্শ্বে গঠিত হইতেছে, সেই হেতু বোঝা যাইতেছে যে লেন্সটি উত্তল।

এখন, আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এক্ষেত্রে, $v=-200$ সে. মি. ; $u=+50$ সে. মি.

কাজেই, $-\frac{1}{200}-\frac{1}{50}=\frac{1}{f}$ or, $-\frac{5}{200}=\frac{1}{f}$

$$\therefore\ f=-\frac{200}{5} \text{ সে. মি.} =-40 \text{ সে. মি.}$$

ফোকাস-দৈর্ঘ্য ঋণাত্মক হওয়ায় লেন্সটি যে উত্তল তাহা সমর্থিত হইতেছে।

এখন, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $u=+60$ সে. মি. ; $f=-40$ সে. মি. ; $v=$?

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ or $\frac{1}{v}-\frac{1}{60}=-\frac{1}{40}$

or, $\frac{1}{v}=\frac{1}{60}-\frac{1}{40}=-\frac{1}{120}$ $\therefore$ $v=-120$ সে. মি.

অর্থাৎ এইবার প্রতিবিম্ব লেন্সের অপর পার্শ্বে 120 সে. মি. দূর গঠিত হইবে। অতএব প্রতিবিম্ব লেন্সের দিকে $(200-120)=$80 সে. মি. সরিয়া আসিবে।

(6) 3 সে. মি. দীর্ঘ একটি ঋজু, উজ্জ্বল ফিলামেন্ট 12 সে. মি. ফোকাস-দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্সের অক্ষ বরাবর রাখা আছে। ফিলামেন্টের যে-প্রান্ত লেন্সের নিকটবর্তী লেন্স হইতে তাহার দূরত্ব 21 সে. মি.; ফিলামেন্টের প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য কত হইবে?

উ। ফিলামেন্টের যে-প্রান্ত লেন্সের নিকটবর্তী তাহার কথা প্রথমে বিবেচনা করিলে আমরা পাই $u=21$ সে.মি., $f=-12$ সে.মি.

এখন, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অথবা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{21}=-\frac{1}{12}$ or, $\frac{1}{v}=\frac{1}{21}-\frac{1}{12}$

$\therefore$ $\frac{1}{v}=-\frac{1}{28}$ অর্থাৎ $v=-28$ সে.মি.;

অতএব নিকটবর্তী প্রান্তের প্রতিবিম্ব লেন্সের অপর পার্শ্বে লেন্স হইতে 28 সে.মি. দূর হইতেছে।

ফিলামেন্টের দূরবর্তী প্রান্তের ক্ষেত্রে বস্তু দূরত্ব $=21+3=24$ সে.মি.

এখন, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অথবা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{24}=-\frac{1}{12}$ or, $\frac{1}{v}=\frac{1}{24}-\frac{1}{12}$

$\therefore$ $\frac{1}{v}=-\frac{1}{24}$ অর্থাৎ $v=-24$ সে.মি.।

অতএব দূরবর্তী প্রান্তের প্রতিবিম্ব লেন্সের অপর পার্শ্বে লেন্স হইতে 24 সে.মি. দূরে হইতেছে।

$\therefore$ প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য $=28-24=4$ সে.মি.।

(7) 20 সে.মি. ফোকাস দৈর্ঘ্যের দুইটি উত্তল লেন্স পরস্পর হইতে 10 সে.মি. দূরে বসানো আছে। উহাদের উভয়েরই অক্ষ এক। 5 সে.মি. উচ্চ একটি লক্ষ্যবস্তু প্রথম লেন্সের সম্মুখে 15 সে.মি. দূরে অক্ষের উপর লম্বভাবে বসানো আছে। চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের অবস্থান ও সাইজ নির্ণয় কর।

উ। এক্ষেত্রে, প্রথম লেন্সটি লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব কোথায় গঠন করিতেছে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে, কারণ ঐ প্রতিবিম্বই দ্বিতীয় লেন্সের বেলায় লক্ষ্যবস্তু হিসাবে কার্য করিবে।

এখন, আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

প্রথম লেন্সের বেলাতে, $u=15$ সে.মি.; $f=-20$ সে.মি.; $v=?$

অতএব, $\frac{1}{v}-\frac{1}{15}=-\frac{1}{20}$ or, $\frac{1}{v}=\frac{1}{15}-\frac{1}{20}=\frac{1}{60}$ $\therefore v=+60$ সে.মি।

অর্থাৎ প্রথম লেন্সের যে-পার্শ্বে লক্ষ্যবস্তু সেই পার্শ্বেই প্রতিবিম্ব গঠিত হইতেছে (প্রতিবিম্ব দূরত্ব ধনাত্মক বলিয়া) এবং লেন্স হইতে 60 সে.মি. দূরে অবস্থিত হইতেছে। কিন্তু লেন্স দুইটির ভিতর দূরত্ব 10 সে.মি. হওয়ায় দ্বিতীয় লেন্স হইতে এই প্রতিবিম্বের দূরত্ব হইবে $(60+10)=70$ সে.মি.; এই প্রতিবিম্ব-দূরত্ব হইবে দ্বিতীয় লেন্সের বস্তু-দূরত্ব। অর্থাৎ দ্বিতীয় লেন্সের বেলাতে, $u=70$ সে.মি., $f=-20$ সে.মি.; $v=?$

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ or, $\frac{1}{v}-\frac{1}{70}=-\frac{1}{20}$

or, $\frac{1}{v}=\frac{1}{70}-\frac{1}{20}=-\frac{5}{140}=-\frac{1}{28}$ $\qquad v=-28$ সে.মি.।

অর্থাৎ চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব দ্বিতীয় লেন্সের ডানদিকে (লক্ষ্যবস্তু যে-দিকে আছে তাহার বিপরীত দিকে) 28 সে.মি. দূরে গঠিত হইবে। এই প্রতিবিম্ব সদ্ এবং অবশীর্ষ।

এখন, প্রথম লেন্স কর্তৃক সৃষ্ট বিবর্ধন $=\frac{v}{u}=\frac{60}{15}=4$

এবং দ্বিতীয় ,, ,, ,, ,, $=\frac{v}{u}=\frac{28}{70}=\frac{2}{5}$

$$\text{সুতরাং মোট বিবর্ধন}=4\times\frac{2}{5}=\frac{8}{5}$$

অতএব চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের সাইজ = লক্ষ্যবস্তুর সাইজ × মোট বিবর্ধন

$$=5\times\frac{8}{5}=8 \text{ সে. মি.}$$

4·11 অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয় (Conjugate pair of focii) ঃ আলোকরশ্মির পথ প্রত্যাবর্তনশীল (reversible) বলিয়া একটি লেন্স উহার অক্ষস্থিত কোন বস্তুবিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠন করিলে ঐ বস্তুবিন্দু ও উহার প্রতিবিম্ব উভয়ের অবস্থানের অদলবদল করা যায়। অর্থাৎ লেন্স বস্তুবিন্দুর সদ্‌বিম্ব গঠন করিলে বিম্বের স্থানে লক্ষ্যবস্তু রাখিলে লক্ষ্যবস্তুর পূর্বেকার অবস্থানে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। কিন্তু বিম্ব অসদ্ হইলে ঐরূপ হইবে না। তখন আপতিত রশ্মিগুলিকে এমনভাবে পাঠাইতে হইবে যেন লেন্সের অবর্তমানে অসদ্‌বিম্বের স্থানে উহারা একত্রিত হইতে চেষ্টা করে; তাহা হইলে লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর লক্ষ্য-বস্তুর পূর্বেকার অবস্থানে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

অক্ষস্থিত বস্তুবিন্দু ও উহার প্রতিবিম্বের অবস্থানের এই পারস্পরিক বিনিময় সম্ভব বলিয়া উহাদের অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয় বলা হয়। আমরা জানি, লক্ষ্যবস্তুদূরত্ব (u) এবং প্রতিবিম্ব-

দূরত্ব (v) একটি সূত্রদ্বারা আবদ্ধ। সূত্রটি হইল $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$; এই সূত্রকে মাঝে মাঝে অনুবন্ধী সম্পর্ক (conjugate relationship) বলিয়া উল্লেখ করা হয়।

4·12 **লেন্সের ক্ষমতা** (Power of a lens) ঃ মনে কর, দুইটি লেন্স আছে। একটির ফোকাস-দৈর্ঘ্য কম এবং দ্বিতীয়টির অপেক্ষাকৃত বেশী। এখন যদি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি লেন্স দুইটির অক্ষের সমান্তরালভাবে আসিয়া আলাদাভাবে লেন্স দুইটির উপর আপতিত হয়, তবে উহারা লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া ফোকাস-বিন্দুতে একত্রিত হইবে। প্রথম লেন্সটির বেলাতে ঐ বিন্দু লেন্সের যত কাছে হইবে দ্বিতীয় লেন্সের বেলাতে তাহা হইবে না। এক্ষেত্রে বলা হয়, প্রথম লেন্সটির ক্ষমতা দ্বিতীয় লেন্স অপেক্ষা বেশী।

সংজ্ঞা ঃ উত্তল লেন্সের ক্ষমতা বলিতে আমরা বুঝি যে ঐ লেন্স সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে লেন্সের কত কাছে একত্রিত করিতে পারে।

ঠিক অনুরূপভাবে **অবতল লেন্সের ক্ষমতা বলিতে আমরা বুঝি যে ঐ লেন্স সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে কতখানি অপসৃত করিয়া দিতে পারে।**

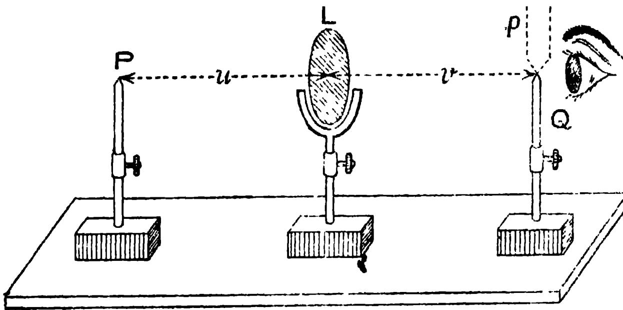
লেন্সের ক্ষমতা যত বেশী হইবে অর্থাৎ সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে লেন্স যত বেশী অভিসারী অথবা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করিবে তত উহার ফোকাস দৈর্ঘ্য ক্ষুদ্র হইবে। সুতরাং ক্ষমতা বৃদ্ধি পাইলে ফোকাস দৈর্ঘ্য হ্রাস পায় আবার ক্ষমতা হ্রাস পাইলে ফোকাস-দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়। এই কারণে লেন্সের ক্ষমতা 'P' এবং ফোকাস-দৈর্ঘ্য 'f' হইলে $P=\frac{1}{f}$

যে-লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 100 সে. মি. উহার ক্ষমতাকে ক্ষমতার একক ধরা হয়। এই এককের নাম **ডায়প্টার** (dioptre)। উত্তল লেন্সের ক্ষমতাকে ধনাত্মক এবং অবতল লেন্সের ক্ষমতাকে ঋণাত্মক গণ্য করা হয়। যে উত্তল-লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 25 সে. মি. উহার ক্ষমতা$=+\frac{1}{25/100}=+4$ ডায়প্টার। যে-লেন্সের ক্ষমতা 2 ডায়প্টার, উহার ফোকাস-দৈর্ঘ্য$=\frac{1·00}{2}=50$ সে. মি.।

4.13 **সহজে লেন্স চিনিবার পদ্ধতি** (Simple method of identification of lenses) ঃ আমরা দেখিয়াছি, কোন লক্ষ্যবস্তুকে লেন্সের ফোকাসদূরত্বের মধ্যে অর্থাৎ খুব কাছে রাখিলে উহার অসদ্ ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হয় যদি লেন্স উত্তল হয় এবং অসদ্ ও ক্ষুদ্রতর প্রতিবিম্ব গঠিত হয় যদি লেন্স অবতল হয়। কাজেই সহজ উপায়ে লেন্স চিনিতে হইলে লেন্সের সন্নিকটে একটি আঙুল রাখ এবং অপর দিক হইতে উহার প্রতিবিম্ব দেখ। যদি প্রতিবিম্ব আকারে বড় হয় তবে বুঝিতে হইবে লেন্স উত্তল। আর যদি প্রতিবিম্ব আকারে ছোট হয় তবে বুঝিতে হইবে লেন্স অবতল।

4·14 U-V পদ্ধতিতে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় (Determination of the focal length of a convex lens by U-V method) :

পিন দ্বারা (By pins) : একটি লেন্স-ধারক (lens holder)-এ একখানি উত্তল লেন্স L আটকাইয়া টেবিলের উপর রাখ। লেন্সটির প্রধান অক্ষের (চিত্রে কাটা কাটা লাইন দ্বারা প্রদর্শিত) সহিত মিলাইয়া একটি পিন P লেন্সের বাঁদিকে রাখ। ডানদিক হইতে লেন্সের ভিতর দিয়া P-পিন লক্ষ্য করিলে উহার একটি অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব p দেখা যাইবে (4·17 নং চিত্র)।



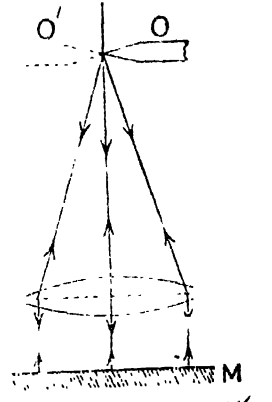
চিত্র 4·17

এখন আর একটি পিন Q লেন্সের ডান দিকে এমনভাবে রাখ যে Q-এর অগ্রভাগ এবং অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব p-এর অগ্রভাগের ভিতর কোনো দৃষ্টিভ্রম (parallax) না থাকে। দৃষ্টিভ্রম অপসারিত হইলে এবং চোখ একটু এদিক-ওদিক নাড়াইলে উহারা একই সঙ্গে একই দিকে নড়াচড়া করিবে। এই অবস্থায় P-পিনকে লক্ষ্যবস্তু এবং Q-পিনকে প্রতিবিম্ব বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে। লেন্স হইতে P-পিনের অগ্রভাগের দূরত্ব মাপিলে উহা 'u' হইবে এবং Q পিনের অগ্রভাগের দূরত্ব মাপিলে উহা 'v' হইবে। অতঃপর $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এই সমীকরণের সাহায্যে (v-কে ঋণাত্মক ধরিয়া) f-এর মান নির্ণয় করা যাইবে।

লেন্স অথবা P-পিনকে বিভিন্ন দূরত্বে রাখিয়া উপরোক্ত পরীক্ষা তিন-চার বার করিলে এবং উহা হইতে গড় 'f' নির্ণয় করিলে উহা লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বুঝাইবে।

4·15 সমতল দর্পণের সাহায্যে উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় (Determination of the focal length of a convex lens by a plane mirror) : কোন উত্তল লেন্সের (L) ফোকাস বিন্দুতে যদি একটি বস্তু-বিন্দু (O) রাখা হয় তবে উক্ত বস্তু-বিন্দু হইতে রশ্মি নির্গত হইয়া লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর রশ্মিগুলি লেন্সের অক্ষের সমান্তরালভাবে চলিয়া যায় [4·18 নং চিত্র]। এখন লেন্সের পশ্চাতে একখানি সমতল দর্পণ (M) যদি এমনভাবে রাখা হয় যে উহার তল লেন্সের অক্ষের সহিত সমকোণ করে, তবে সমান্তরাল রশ্মিগুলি দর্পণের উপর অভিলম্বভাবে আপতিত হইবে এবং একই পথে সমান্তরাল

রশ্মিরূপে প্রত্যাবর্তন করিবে। এই রশ্মিগুলি অতঃপর লেন্স কর্তৃক ফোকাস-বিন্দুতে একত্রিত হইয়া বস্তু বিন্দুর স্থানে প্রতিবিম্ব (O′) গঠন করিবে। এই নীতির উপর ভিত্তি করিয়া উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নিম্নলিখিত উপায়ে নির্ণয় করা যায়।

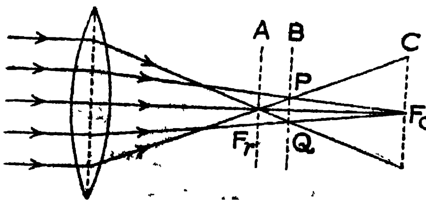


চিত্র 4·18

পরীক্ষা ঃ অনুভূমিকভাবে রক্ষিত একটি সমতল দর্পণের (M) উপর লেন্সটি (L) রাখ। একটি তীক্ষ্ণাগ্র পিনকে অবলম্বনের সাহায্যে আটকাইয়া এমনভাবে বসাও যে পিনের অগ্রভাগ লেন্সের অক্ষের উপর থাকে এবং লেন্স হইতে কিছু উপরে অবস্থান করে। উপর হইতে দৃষ্টিপাত করিলে পিনের অগ্রভাগ এবং উহার প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। এখন পিনটি উঠানামা করাইয়া এমন অবস্থানে রাখ যাহাতে উহা এবং উহার প্রতিবিম্ব পরস্পর স্পর্শ করে এবং উহাদের ভিতর কোন দৃষ্টিভ্রম না থাকে (যেমন O এবং O′ অবস্থান)। এখন লেন্স হইতে পিনের অগ্রভাগ পর্যন্ত দূরত্ব একটি স্কেলের সাহায্যে মাপ। ইহাই হইবে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব।

4·16 **লেন্সে গোলীয় অপেরণ** (Spherical aberration in a lens) **ঃ** আমরা পূর্বে লেন্সের যে সূত্র প্রতিষ্ঠা করিয়াছি তাহা একটি গুরুত্বপূর্ণ অঙ্গীকারের (assumption) উপর নির্ভরশীল এবং সেই অঙ্গীকারটি হইতেছে এই যে লেন্সের উন্মেষ খুব ক্ষুদ্র এবং বস্তু হইতে সকল আলোকরশ্মিই লেন্সের আলোককেন্দ্রের কাছাকাছি বা অক্ষাঞ্চলীয় (paraxial) অঞ্চলে আপতিত হয়। কিন্তু অনেক ক্ষেত্রে বৃহৎ উন্মেষযুক্ত লেন্স ব্যবহার করিতে হয় এবং রশ্মিগুলিও সব অক্ষাঞ্চলীয় হয় না। সেক্ষেত্রে লেন্স কর্তৃক সৃষ্ট প্রতিবিম্বে একটি ত্রুটি দেখা যায়। এই ত্রুটিকে বলা হয় **গোলীয় অপেরণ** (spherical aberration)।

ধর, বৃহৎ উন্মেষযুক্ত কোন উত্তল লেন্সের অক্ষস্থিত বহু দূরবর্তী একটি বস্তুবিন্দু হইতে অক্ষের সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের উপর আপতিত হইল (চিত্র নং 4.19)। অক্ষের নিকটবর্তী অঞ্চলে যে সকল রশ্মি আপতিত হইল—যাহাদের অক্ষাঞ্চলীয় রশ্মি (paraxial rays) বলা যাইবে—তাহারা লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর সকলেই অক্ষস্থিত একটি বিন্দুতে (F_c) মিলিত হইবে। ইহাকে **অক্ষাঞ্চলীয় ফোকাসবিন্দু** (paraxial focal point) বলা হয়। কিন্তু যে সকল রশ্মি অক্ষ হইতে দূরে লেন্সের সীমানার কাছাকাছি অঞ্চলে আপতিত হইবে—যাহাদের অক্ষাপসারী রশ্মি (non-paraxial or marginal rays) বলা



চিত্র 4·19

যাইবে—তাহারা লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর অক্ষস্থিত বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হইবে। 4·19 নং চিত্রে সর্বাপেক্ষা অক্ষাপসারী রশ্মিগুলি F_r বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে দেখানো হইয়াছে। ঐ বিন্দুকে **অক্ষাপসারী ফোকাসবিন্দু** (marginal focal point) বলা হয়। অন্যান্য রশ্মি যাহারা লেন্সের অন্যান্য অঞ্চলে আপতিত হয় তাহারা প্রতিসৃত হইবার পর অক্ষকে যে সকল বিন্দুতে ছেদ করে ঐ সকল বিন্দু F_c এবং F_r বিন্দুদ্বয়ের ভিতর অবস্থিত হয়। এইরূপ হইবার কারণ নিম্নরূপ ঃ

আমরা জানি, কোন লেন্স কতকগুলি ছোট ছোট প্রিজমের সমষ্টি বলা যাইতে পারে। 4·19 নং চিত্রে প্রদর্শিত উত্তল লেন্সও ঐরূপ কতকগুলি ছোট ছোট প্রিজমের সমষ্টি। কিন্তু যত লেন্সের অক্ষ হইতে প্রান্তের দিকে যাওয়া যায় তত প্রিজমগুলির প্রতিসারক কোণ বৃদ্ধি পায়। আবার, প্রিজমের কোণ বৃদ্ধি পাইলে, উহার ভিতর দিয়া নির্গত আলোকরশ্মির চ্যুতিও বৃদ্ধি পায়। ফলে, অক্ষের কাছাকাছি অঞ্চল হইতে নির্গত আলোকরশ্মির তুলনায় সীমানার কাছাকাছি অঞ্চল হইতে নির্গত আলোকরশ্মির চ্যুতি বেশী হয়। এই দুই ধরণের রশ্মির চ্যুতির বিভিন্নতার ফলে উহারা সকলে অক্ষের উপর কোন এক বিন্দুতে মিলিত না হইয়া F_r হইতে F_c পর্যন্ত বিস্তৃত অঞ্চলের বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হয়। কাজে কাজেই, দূরবর্তী বস্তুবিন্দুর বিন্দু-প্রতিবিম্ব না হইয়া বিস্তৃত প্রতিবিম্ব হয়। বিম্বের এই ত্রুটিকেই গোলীয় অপেরণ আখ্যা দেওয়া হয়।

একথা স্মরণ রাখা প্রয়োজন যে, লেন্সের কোন বিশেষ অঞ্চল হইতে আগত সকল রশ্মিই প্রতিসরণের পর অক্ষের উপর এক বিন্দুতে মিলিত হইবে কিন্তু বিভিন্ন অঞ্চল হইতে আগত রশ্মি-গুচ্ছ বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হইবে। ফলে, নির্গত আলোকরশ্মির পথে লেন্সের অক্ষের অভিলম্ব-ভাবে যদি কোন পর্দা ধরা যায়—যেমন A অবস্থানে—তাহা হইলে ঐ পর্দায় একটি বৃত্তাকার আলোকছটা পাওয়া যাইবে যাহার কেন্দ্রবিন্দু হইবে খুব উজ্জ্বল। পর্দাকে B অবস্থানে বসাইলে, ঐ বৃত্তাকার আলোকছটার ব্যাস হইবে সর্বনিম্ন। ঐ বৃত্তকে বলা হয় **নিম্নতম বিভ্রান্তির বৃত্ত** (circle of least confusion) এবং উহাকেই বস্তুবিন্দুর নিকটতম বিন্দু প্রতিবিম্ব বলিয়া গণ্য করা হয়।

গোলীয় অপেরণ অপসারণ করিবার বিভিন্ন উপায় আছে। ইহাদের মধ্যে সর্বাপেক্ষা উল্লেখ-যোগ্য হইতেছে উত্তল লেন্স সমন্বয়। দুইটি উত্তল লেন্সকে সমাক্ষীয়ভাবে কিছু তফাতে বসাইলে প্রমাণ করা যায় যে উহাদের দূরত্ব, $x=f_2-f_1$ হইলে, উহারা সর্বনিম্ন গোলীয় অপেরণ সৃষ্টি করিবে।

তাছাড়া স্টপ (stop) ব্যবহার করিয়া অক্ষাপসারী রশ্মিগুলি বাদ দিয়া কেবলমাত্র অক্ষাঞ্চলীয় রশ্মিগুলিকে প্রতিবিম্ব গঠন করিতে দিলে প্রতিবিম্বে গোলীয় অপেরণ ত্রুটি থাকে না। স্টপ একটি অস্বচ্ছ পর্দা যাহার মাঝখানে একটি ছিদ্র থাকে যে ছিদ্র দিয়া আলোকরশ্মি নির্গত হইয়া যাইতে পারে।

Exercises

1. লেন্স কাহাকে বলে? উত্তল ও অবতল লেন্সের ভিতর তফাৎ কি? চিত্রদ্বারা বুঝাইয়া দাও কেন উহাদের যথাক্রমে অভিসারী ও অপসারী লেন্স বলে? নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা বুঝাইয়া লেখ ঃ—(ক) বক্রতা-কেন্দ্র, (খ) আলোক-কেন্দ্র, (গ) ফোকাস, (ঘ) ফোকাস-দূরত্ব (ঙ) উন্মেষ।

2. পরিষ্কার ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও কিরূপে উত্তল লেন্স সদ্ প্রতিবিম্ব ও অবতল লেন্স অসদ্ প্রতিবিম্ব গঠন করে। কোন লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত এক-টি বিস্তৃত লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিতে ঐ লেন্সের কি গুণাগুণ ব্যবহার করা সম্ভব? চিত্র সহযোগে তোমার উত্তর ব্যাখ্যা কর। [*H. S.* (*Comp*) *1963*]

3. নিম্নলিখিত প্রতিবিম্বগুলি পাইতে গেলে কোন্ ধরণের লেন্স ব্যবহার করিবে এবং লক্ষ্যবস্তু কোথায় রাখিবে নির্দেশ কর ঃ—(ক) বিবর্ধিত সদ্ প্রতিবিম্ব, (খ) বিবর্ধিত অসদ্ প্রতিবিম্ব, (গ) ক্ষুদ্রতর সদ্ প্রতিবিম্ব, (ঘ) ক্ষুদ্রতর অসদ্ প্রতিবিম্ব, (ঙ) সমান আকারের সদ্ প্রতিবিম্ব। প্রত্যেক ক্ষেত্রে পরিষ্কার ছবি আঁক।

4. একটি লক্ষ্যবস্তুকে একটি উত্তল লেন্স হইতে বিভিন্ন দূরত্বে রাখিলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও সাইজের কিরূপ পরিবর্তন হয় তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও। প্রত্যেক অবস্থানের ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর।

5. একটি লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব, লক্ষ্যবস্তু-দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব-দূরত্বের পারস্পরিক সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর। [*H. S. Exam. 1960* (*Comp*)*1962, 66'* (*Comp*)]

6. 2 সে. মি. উচ্চ একটি লক্ষ্যবস্তুকে একটি অবতল লেন্স হইতে যথাক্রমে (i) 50 সে. মি. এবং (ii) 15 সে. মি. দূরে রাখা হইল। লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব 20 সে. মি. হইলে প্রতিবিম্বদ্বয় কোথায় অবস্থিত হইবে তাহা নির্ণয় কর। প্রতিবিম্বের উচ্চতা কত হইবে?

[Ans. (i) 14·3 সে.মি.; 0·57 সে.মি.; (ii) 8·57 সে.মি.; 1·14 সে.মি.]

7. 1 ইঞ্চি উচ্চ একটি লক্ষ্যবস্তুকে কোন উত্তল লেন্স হইতে উহার ফোকাস দূরত্বের দ্বিগুণ দূরে রাখিলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও উচ্চতা নির্ণয় কর।

[*H. S. Exam. 1960*] [Ans. ফোকাস দূরত্বের দ্বিগুণ, সদ্, 1" ইঞ্চি]

8. একটি লক্ষ্যবস্তু কোন লেন্স হইতে 20 ইঞ্চি দূরে অবস্থিত হইলে উহার একটি অসদবিম্ব তৈরী হয়। বিম্বের সাইজ লক্ষ্যবস্তুর সাইজের $\frac{2}{3}$ হইলে বিম্ব কোথায় অবস্থিত হইবে, লেন্সটি কি ধরণের, এবং উহার ফোকাস-দূরত্ব কত তাহা নির্ণয় কর।

[Ans. 13·3"; অবতল; 40"]

9. একটি লক্ষ্যবস্তু একটি উত্তল লেন্স হইতে 15 সে.মি. দূরে থাকিলে বস্তুর সাইজের দ্বিগুণ সদবিম্ব তৈয়ারী হয়। ঐ লেন্স হইতে কত দূরে লক্ষ্যবস্তু রাখিলে বস্তুর সাইজের দ্বিগুণ অসদ্-বিম্ব তৈয়ারী হইবে? [Ans. 5 সে. মি.]

10. একটি দুই ইঞ্চি দীর্ঘ লক্ষ্যবস্তু একটি উত্তল লেন্স (ফোকাস দূরত্ব = 7 ইঞ্চি) হইতে যথাক্রমে (a) 4 ইঞ্চি, (b) 10 ইঞ্চি দূরে রাখা হইল। বিম্বের অবস্থিতি, প্রকৃতি ও দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [Ans. (a) $9\frac{1}{3}$" ; অসদ্, $4\frac{2}{3}$" (b) $3\frac{1}{3}$" ; সদ্, $4\frac{2}{3}$"]

11. 3 সে.মি. দীর্ঘ লক্ষ্যবস্তু 20 সে.মি. ফোকাস দূরত্ব-সম্পন্ন অবতল লেন্স হইতে 10 সে. মি. দূরে অবস্থিত। বিম্বের অবস্থিতি, দৈর্ঘ্য ও প্রকৃতি নির্ণয় কর।

[Ans. 6·6 সে. মি. ; 2 সে. মি. ; অসদ্]

12. 20 সে. মি. ফোকাস-দৈর্ঘ্যযুক্ত একটি উত্তল লেন্সে নিম্নলিখিত রশ্মিগুচ্ছ পড়িলে কি ফলাফল হইবে নির্ণয় কর, (i) সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ, (ii) লেন্স হইতে 20 সে.মি. দূরবর্তী কোন বিন্দু হইতে অপসৃত রশ্মিগুচ্ছ (iii) লেন্স হইতে 5 সে.মি. দূরবর্তী কোন বিন্দু হইতে অপসৃত রশ্মিগুচ্ছ, (iv) লেন্সের পশ্চাতে 20 সে.মি. দূরবর্তী বিন্দুর দিকে অগ্রবর্তী অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ। রশ্মিগুচ্ছের মধ্যবর্তী রশ্মিকে লেন্সের প্রধান অক্ষ হিসাবে গণ্য করিয়া উপরোক্ত প্রতি ক্ষেত্রে একটি করিয়া পরিষ্কার ছবি আঁক।

[Ans. (i) ফোকাসে একত্রীভূত হইবে (ii) সমান্তরাল রশ্মিরূপে নির্গত হইবে (iii) 6·6 সে. মি. দূরে অসদ্‌বিম্ব (iv) লেন্স হইতে 10 সে.মি. দূরে একত্রীভূত হইবে]।

13. একটি উত্তল লেন্স দ্বারা লেন্স হইতে 10 মিটার দূরে একটি পর্দার উপর একটি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব তৈয়ারী করিতে হইবে। যদি বিবর্ধনের পরিমাণ 20 হয় তবে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব কত হইবে? [Ans. 47·6 সে. মি.]

14. 3 সে.মি. এবং 4 সে.মি. ফোকাস-দূরত্ব-সম্পন্ন দুইটি উত্তল লেন্সকে পরস্পর হইতে 8 সে.মি. দূরে রাখা হইল। 1 সে.মি. উচ্চ লক্ষ্যবস্তুকে ছোট ফোকাস-দূরত্ব সম্পন্ন লেন্সের সম্মুখে 4 সে.মি. দূরে রাখা হইল। লেন্স দুইটি দ্বারা গঠিত শেষ প্রতিবিম্বের অবস্থান ও সাইজ নির্ণয় কর।

[Ans. বৃহত্তর ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্স হইতে 2 সে.মি. পশ্চাতে ; 1·5 সে. মি.]

15. লেন্সের 'ক্ষমতা' কাহাকে বলে? একটি অবতল লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 20 সে.মি., উহার ক্ষমতা কত? [Ans. −5D]

16. (a) উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[*H. S. Exam. 1961, P. . 1962*]

(b) একটি উত্তল লেন্সকে একখানি অনুভূমিক সমতল দর্পণের উপর এমনভাবে রাখা হইল যে লেন্সের অক্ষ উলম্ব হয়। লেন্সের অক্ষ বরাবর একটি পিনের অগ্রভাগ ইতস্ততঃ সরানো হইলে কোথায় অগ্রভাগ এবং উহার প্রতিবিম্ব একসঙ্গে মিশিবে? তোমার উত্তরের কারণ বর্ণনা কর।

[*H. S. (Comp) 1963, '66 (Comp)*]

17. একদল অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ 20 সে.মি. ফোকাস দূরত্বের একটি অবতল লেন্সের ভিতর দিয়া গিয়া লেন্স হইতে 15 সে.মি. দূরে একত্রীভূত হইল। লেন্সের অবর্তমানে রশ্মিগুলি যে বিন্দুতে মিলিত হইত লেন্স হইতে তাহার দূরত্ব নির্ণয় কর। [Ans. 8·57 সে. মি.]

18. 5 ইঞ্চি ফোকাস-দৈর্ঘ্যযুক্ত একখানি উত্তল লেন্সের অক্ষ বরাবর একটি তীর রাখা আছে। লেন্স হইতে তীরটির মধ্যবিন্দুর দূরত্ব 9·5 ইঞ্চি এবং তীরটির দৈর্ঘ্য 1 ইঞ্চি, তীরটির প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য কত হইবে? [Ans. 1·25 ইঞ্চি]

19. একটি উত্তল লেন্স কোন লক্ষ্যবস্তুর n গুণ সদ্ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিল। প্রমাণ কর যে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব$=(n+1)\dfrac{f}{n}$, f=লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য।

20. একটি লক্ষ্যবস্তুকে কোন উত্তল লেন্সের সম্মুখে এমন দূরত্ব রাখা হইল যে উহার সমান সাইজের একটি সদ্‌বিম্ব গঠিত হইল। অতঃপর লক্ষ্যবস্তুকে লেন্সের দিকে 16 সে.মি. সরানো হইল। বিম্ব তখনও সদ্ থাকিল কিন্তু আকারে তিনগুণ হইল। লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব কত? [Ans. 24 সে.মি.]

21. একটি লক্ষ্যবস্তুকে উত্তল লেন্স হইতে কিছু দূরে রাখিয়া যে সদ্‌বিম্ব হইল তাহার বিবর্ধন m_1 এবং বস্তুকে x দূরে সরাইয়া যে সদ্ বিম্ব হইল তাহার বিবর্ধন m_2 হইল, প্রমাণ কর যে, লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $f=\dfrac{x}{\dfrac{1}{m_1}-\dfrac{1}{m_2}}$

22. একটি লক্ষ্যবস্তু এবং পর্দা পরস্পর হইতে কিছুদূরে অবস্থিত। উহাদের মাঝে একটি উত্তল লেন্স রাখিয়া দেখা গেল যে লেন্সের দুইটি অবস্থান পাওয়া যায় যখন লক্ষ্যবস্তুর একটি করিয়া স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পর্দায় গঠিত হয়। যদি লেন্সটির দুই অবস্থানের ভিতরকার দূরত্ব x এবং দুই অবস্থানের প্রতিবিম্বের বিবর্ধন m_1 এবং m_2 হয় তবে প্রমাণ কর $f=\dfrac{x}{m_1-m_2}$

23. একটি উত্তল লেন্স কোন লক্ষ্য বস্তুর 1 সে.মি. দীর্ঘ একটি প্রতিবিম্ব একটি পর্দার উপর গঠন করিল। পর্দা এবং লক্ষ্যবস্তুর অবস্থান ঠিক রাখিয়া উত্তল লেন্সকে সরাইয়া আর একবার প্রতিবিম্ব গঠন করা হইল। এই প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য 0·75 সে.মি. হইলে লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্য কত? [Ans. 0·87 সে. মি.]

24. লেন্সে গোলীয় অপেরণ কাহাকে বলে? ইহার উৎপত্তি ব্যাখ্যা কর।

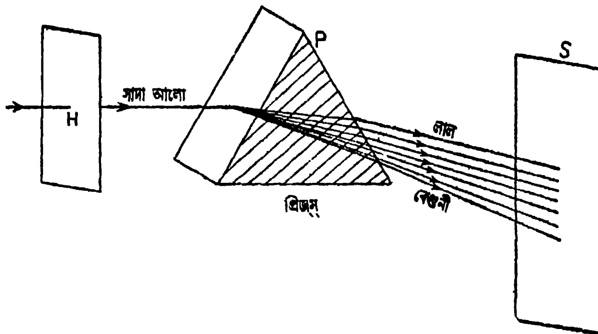
পঞ্চম পরিচ্ছেদ

আলোকের বিচ্ছুরণ ও বর্ণালী

(Dispersion of light and Spectrum)

5·1. **আলোকের বিচ্ছুরণ ঃ** 1666 খ্রীষ্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী স্যার আইজাক নিউটন আলোকের বিচ্ছুরণ আবিষ্কার করেন। তিনি দেখিতে পান যে সূর্যরশ্মি (সাদা আলো) কাচের প্রিজমের ভিতর দিয়া গেলে সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিভক্ত হইয়া পড়ে।

পরীক্ষা ঃ এক অস্বচ্ছ পর্দায় H একটি ছিদ্র (5·1 নং চিত্র)। ছিদ্র দিয়া সাদা আলোক-রশ্মি একটি প্রিজম P-এর উপর আপতিত হইল। আলোকরশ্মি প্রিজম হইতে নির্গত হইয়া যখন একটি পর্দা S-এর উপর পড়িবে তখন পর্দায় একটি বিভিন্ন বর্ণবিশিষ্ট পটি (band) দেখিতে পাওয়া যাইবে। উক্ত বর্ণবিশিষ্ট পটিকে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, উহাতে রামধনুর



চিত্র 5·1

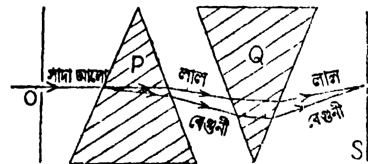
সাতটি বর্ণ বর্তমান এবং উহার এক প্রান্ত লাল এবং অপর প্রান্ত বেগুনী। অন্যান্য বর্ণগুলি হইতেছে কমলা (orange), হলদে (yellow), সবুজ (green), নীল (blue), গাঢ়নীল (indigo)। এই বর্ণগুলির ক্রমিক অবস্থান ইংরেজী VIBGYOR (প্রত্যেক বর্ণের আদ্যাক্ষর লইয়া গঠিত) কথা হইতে পাওয়া যাইবে। এই বর্ণবিশিষ্ট পটিকে **বর্ণালী** (spectrum) বলা হয়। প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে সাদা রঙের আলো বিশ্লিষ্ট হইয়া সাতটি বর্ণের আলোতে বিভক্ত হইবার প্রণালীকে বলা হয় **আলোকের বিচ্ছুরণ** (dispersion of light)।

বর্ণালী লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, বিভিন্ন বর্ণের আলোর চ্যুতি (deviation) বিভিন্ন। বেগুনী বর্ণের আলোর চ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশী এবং লাল বর্ণের আলোর চ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম। ইহাকে অনেক সময় বলা হয় যে বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির **প্রতিসরণীয়তা** (refrangibility) বিভিন্ন। হলদে বর্ণের চ্যুতি লাল ও বেগুনী বর্ণের চ্যুতির মাঝামাঝি বলিয়া হলদে বর্ণের আলো-কে বলা হয় মধ্যবর্তী (mean) রশ্মি।

5·2. **সাদা আলোর যৌগিক প্রকৃতি** (Composite nature of white light) : সাদা আলো প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার কালে যে-সাত বর্ণের আলোতে বিভক্ত হয় তাহা প্রমাণ করে যে সাদা আলো **যৌগিক** (composite or compound)। এই সাতটি বর্ণের আলোক-রশ্মির যে-কোন একটিকে পুনরায় একটি প্রিজমের ভিতর দিয়া পাঠাইলে তাহার আর কোন বর্ণ বিশ্লেষণ দেখা যায় না—অর্থাৎ ইহারা প্রত্যেকটি **একবর্ণ** (monochromatic) রশ্মি।

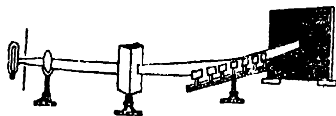
সাদা আলোর যৌগিক প্রকৃতি আরো ভালভাবে প্রমাণিত হয় যদি সাতটি বর্ণের রশ্মিকে মিশাইলে পুনরায় সাদা আলোকরশ্মি পাওয়া যায়। নিম্নলিখিত বিভিন্ন উপায়ে সাদা আলোর পুনর্যোজন করা যায়।

(1) **একই ধরনের দুইটি প্রিজম দ্বারা** : P এবং Q দুইটি একই ধরনের ও একই পদার্থে গঠিত প্রিজম পাশাপাশি উল্টা করিয়া বসানো। একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র O হইতে সাদা আলোকরশ্মি P-প্রিজমের উপর আপতিত হইয়া বর্ণালীতে বিচ্ছুরিত হইবে কিন্তু বর্ণালীর বিভিন্ন রশ্মি Q-প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে পুনর্যোজিত হইবে এবং নির্গত রশ্মি একটি পর্দা S-এর উপর পড়িলে সাদা রং-এর আলোরূপে দেখা যাইবে (5·2 নং চিত্র)।



চিত্র 5·2

(2) **আয়নার সাহায্যে** : সাদা আলোর সূর্যরশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার ফলে বর্ণালীতে বিচ্ছুরিত হইল এবং প্রত্যেকটি বর্ণের আলো এক একটি প্রতিফলক আয়নার উপর এমন-ভাবে পড়িল যে প্রতিফলিত হইয়া সব বর্ণরশ্মিগুলি পর্দার এক জায়গায় গিয়া মিশিল (5·3 নং চিত্র)। এইরূপে পুনর্যোজিত হইবার ফলে পর্দায় সাদা রং-এর আলো দেখা যাইবে।


চিত্র 5·3

(3) **নিউটনের বর্ণ-চাকতি** (Colour-disc) **দ্বারা** : ইহা একটি কার্ড-বোর্ডের চাকতি। এই চাকতিকে সমান চার ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগে বর্ণালীতে যে ক্রমিক পর্যায়ে বর্ণগুলি সাজানো থাকে এবং যতখানি জায়গা দখল করে সেই অনুপাতে রং করা হয় (5·4 নং চিত্র)। এখন এই চাকতিকে জোরে ঘুরাইলে কোন বিশেষ বর্ণ দেখা যাইবে না—তৎপরিবর্তে চাকতির বর্ণ সাদা মনে হইবে। ইহার কারণ, জোরে ঘুরিবার ফলে চোখে এক বর্ণের অনুভূতি থাকিতে থাকিতে অন্য বর্ণের অনুভূতি আসিয়া



চিত্র 5·4

পড়ে এবং এই দৃষ্টিনির্বন্ধের (persistence of vision) জন্য সাতটি বর্ণ মিলিয়া সাদা রং-এর অনুভূতি সৃষ্টি করে।

5·3. কৌণিক বিচ্ছুরণ ও বিচ্ছুরণ ক্ষমতা (Angular dispersion and dispersive power) ঃ

3·19. অনুচ্ছেদে আমরা দেখিয়াছি যে পাতলা প্রিজমের ভিতর দিয়া একবর্ণের রশ্মি নির্গত হইলে ঐ রশ্মির চ্যুতির পরিমাণ $\delta=(\mu-1)A$ [A=প্রিজমের প্রতিসারক কোণ এবং μ ঐ বর্ণের সাপেক্ষে প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক)

এখন, ধর, একটি পাতলা প্রিজমের উপর সাদা আলোকরশ্মি আপতিত হইল। প্রিজম হইতে নির্গত হইলে, রশ্মি লাল হইতে বেগুনী পর্যন্ত সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিচ্ছুরিত হইবে এবং চ্যুতিও বিভিন্ন হইবে।

এখন, মধ্যবর্তী হলুদে রশ্মির বেলায় লেখা যাইবে,

$$\delta=(\mu-1)A \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এখানে, δ=হলুদে রশ্মির চ্যুতি বা মধ্যবর্তী চ্যুতি

μ=হলুদেরশ্মির বেলায় প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক বা মধ্যবর্তী প্রতিসরাঙ্ক

A=প্রিজমের প্রতিসারক কোণ।

তেমনি লাল ও বেগুনী বর্ণের আলোর চ্যুতির বেলায় লেখা যাইবে,

$$\delta_r=(\mu_r-1)A \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

$$\delta_v=(\mu_v-1)A \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$$

বলা বাহুল্য, এ ক্ষেত্রে μ_r এবং μ_v যথাক্রমে লাল এবং বেগুনী বর্ণের সাপেক্ষে প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক বুঝাইতেছে।

এখন, বেগুনী ও লালবর্ণের আলোকরশ্মির উক্ত চ্যুতির অন্তরফলকে ঐ দুই বর্ণের সাপেক্ষে **কৌণিক বিচ্ছুরণ** বলা হয়। অতএব, ঐ কৌণিক বিচ্ছুরণ $\delta_v-\delta_r=(\mu_v-\mu_r)A$

$$=\frac{(\mu_v-\mu_r)\ (\mu-1)}{(\mu-1)}.A=\frac{(\mu_v-\mu_r)}{(\mu-1)}.\delta \quad \text{[(i) নং সমীকরণের সাহায্যে]}$$

$$\therefore \frac{\delta_v-\delta_r}{\delta}=\frac{\mu_v-\mu_r}{\mu-1}=\omega$$; এখানে ω-কে বলা হয় প্রিজমের উপাদানের [illegible]।

ডিফারেন্সিয়াল প্রতীক অনুযায়ী লালবর্ণ হইতে বেগুনীবর্ণে অতিক্রম করিলে প্রিজমের প্রতিসরাঙ্কের ক্ষুদ্র বৃদ্ধিকে $(\mu_v-\mu_r)$ লেখা যাইতে পারে $d\mu$; অতএব, $\omega=\dfrac{d\mu}{\mu-1}$

এই হিসাবে, কৌণিক বিচ্ছুরণ$=\dfrac{(\mu_v-\mu_r)}{\mu-1}.\ \delta=\omega.\ \delta$=বিচ্ছুরণ ক্ষমতা × মধ্যবর্তী চ্যুতি।

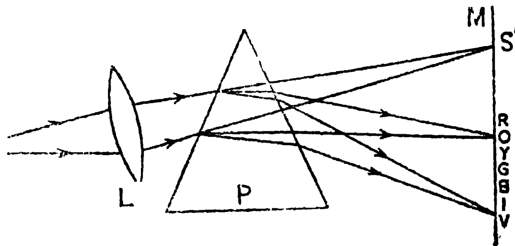
5·4. অশুদ্ধ ও শুদ্ধ বর্ণালী (Impure and pure spectrum) ঃ সাধারণভাবে আলোকরশ্মি প্রিজম কর্তৃক বিচ্ছুরিত হইয়া পর্দায় যে আলোক-পটি গঠন করে তাহাকে **অশুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়, কারণ, এই বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণ তাহাদের নিজস্ব জায়গা দখল করে না বা সকল বর্ণ পৃথক ভাবে দৃশ্যমান হয় না। বর্ণালী অশুদ্ধ হইবার কারণ এই যে, একটি মাত্র আলোকরশ্মি পাওয়া সম্ভব নয়। যতই সূক্ষ্ম হউক না কেন রশ্মিগুচ্ছে একের অধিক রশ্মি থাকিবে। সুতরাং গুচ্ছের প্রত্যেকটি রশ্মিই বিচ্ছুরিত হইয়া নিজস্ব বর্ণালী সৃষ্টি করিবে এবং পর্দায় বর্ণালীগুলি একের উপর আর একটি গিয়া পড়িবে। ফলে বর্ণালীর সব বর্ণ পৃথক ভাবে দেখা যায় না এবং বর্ণালী অশুদ্ধ হইয়া পড়ে।

একটি সাধারণ পরীক্ষার সাহায্যেও ইহা প্রদর্শন করানো যাইতে পারে। প্রিজম্ হইতে নির্গত আলোকরশ্মির পথে যদি কিছু ধোঁয়া সৃষ্টি করা যায় তবে ধোঁয়ার রং রশ্মিগুচ্ছের নিকট রঙীন দেখা যাইবে কিন্তু রশ্মিগুচ্ছের মাঝখানে রঙীন দেখা যাইবে না। কারণ, মাঝখানে বিভিন্ন বর্ণের রশ্মি একের উপর আর এক পড়িয়া সাদা রংয়ের সৃষ্টি করে।

সংজ্ঞা ঃ যে-বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণ পৃথক্ ও স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান হয় এবং বর্ণগুলি নিজস্ব জায়গা দখল করিয়া থাকে তাহাকে **শুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়।

যে-বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণ পৃথক্ ও স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান হয় না এবং বর্ণগুলি নিজস্ব জায়গা দখল করিয়া থাকে না তাহাকে **অশুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়।

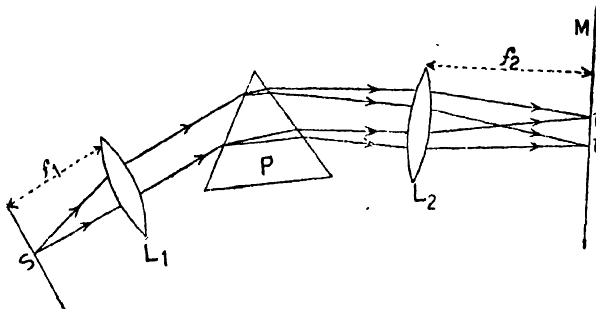
5·5. শুদ্ধ বর্ণালী গঠনের বিভিন্ন উপায় (Methods of producing pure spectrum) ঃ (ক) S একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র সাদা আলো দ্বারা উদ্ভাসিত। একটি উত্তল লেন্স L এমনভাবে বসানো হইল যাহাতে M-পর্দার উপর S-ছিদ্রের একটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব S′ গঠিত হয় (5·5 নং চিত্র)। এইবার লেন্স ও পর্দার মাঝখানে একটি প্রিজম্ P এমনভাবে বসানো হইল যেন মধ্যবর্তী হলুদে রশ্মি প্রিজমের ভিতর দিয়া ন্যূনতম চ্যুতিতে (minimum



চিত্র 5·5

deviation) গমন করিতে পারে। প্রিজমের এইরূপ অবস্থানের ফলে অন্যান্য বর্ণের রশ্মিগুলিও প্রায় ন্যূনতম চ্যুতিতে গমন করিবে এবং প্রিজমের অভ্যন্তরে তাহাদের পথের বিশেষ তারতম্য হইবে না। সুতরাং ছিদ্র হইতে সাদা আলো প্রিজম কর্তৃক বিচ্ছুরিত হইয়া পর্দার উপর ছিদ্রের সাতটি রঙের প্রতিবিম্ব তৈয়ারী করিবে এবং এই বর্ণগুলিকে আলাদাভাবে স্পষ্ট দেখা যাইবে।

(খ) S একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র L_1 উত্তল লেন্সের ফোকাসে অবস্থিত। সুতরাং ছিদ্র হইতে নির্গত সাদা আলোকরশ্মিগুচ্ছ লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইবে। এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অতঃপর একটি প্রিজম P-এর উপর আপতিত হইল (5·6 নং চিত্র)। প্রিজমটি মধ্যবর্তী হলদে রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে স্থাপিত। ফলে আপতিত সাদা রশ্মি-



চিত্র 5·6

গুচ্ছ প্রিজম কর্তৃক এমনভাবে বিচ্ছুরিত হইবে যে, সব লাল বর্ণের রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল; সব বেগুনী বর্ণের রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল ইত্যাদি। এইবার এই বিভিন্ন বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুলি আর একটি উত্তল লেন্স L_2-তে আপতিত হইলে এই লেন্স সব বর্ণরশ্মিগুলিকে পৃথক্ পৃথক্ ভাবে পর্দার উপর কেন্দ্রীভূত করিবে। সুতরাং পর্দায় স্পষ্টভাবে সাতটি বর্ণ দেখা যাইবে। পর্দাকে L_2 লেন্সের ফোকাস তলে রাখিতে হইবে।

শুদ্ধ বর্ণালী গঠনের শর্ত (Conditions of forming pure spectrum) : শুদ্ধ বর্ণালী গঠনের উপরোক্ত পদ্ধতি হইতে বোঝা যায় যে, ইহার জন্য নিম্ন বর্ণিত শর্তগুলি প্রয়োজন :—

(i) ছিদ্র খুব সূক্ষ্ম হওয়া প্রয়োজন—কারণ, ছিদ্র বড় হইলে অনেক রশ্মি নির্গত হইয়া প্রিজমে পড়িবে এবং উহাদের প্রত্যেকের বর্ণালী একের সহিত অপরে মিশিয়া অশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবে।

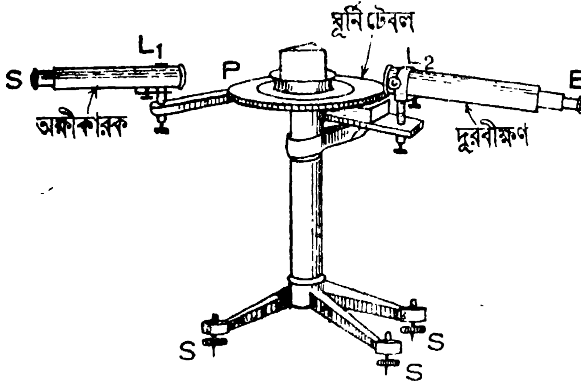
(ii) একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করিয়া প্রিজমের উপর আপতিত রশ্মিগুচ্ছকে সমান্তরাল করিতে হইবে। ইহাতে একই বর্ণের বিভিন্ন রশ্মিগুলির চ্যুতি সমান হইবে।

(iii) প্রিজমকে মধ্যবর্তী হলদে রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতি অবস্থানে স্থাপন করিতে হইবে। ফলে অন্যান্য রশ্মিও প্রায় ন্যূনতম চ্যুতিতে নির্গত হইবে।

(vi) একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করা প্রয়োজন যাহা বিভিন্ন বর্ণযুক্ত ছিদ্রের প্রতিবিম্ব পর্দার উপর গঠন করিবে।

5·6. **বর্ণালীবীক্ষণ** (Spectroscope) : কোন যৌগিক উৎসের শুদ্ধ বর্ণালী গঠন ও উহার পর্যালোচনার উপযুক্ত যন্ত্র হইল বর্ণালীবীক্ষণ। এই যন্ত্রের সহিত একটি চক্রাকার

স্কেল ও ভার্নিয়ার যুক্ত করিয়া তাহার সাহায্যে পরিমাপ করা হইলে, তখন ঐ যন্ত্রকে বলা হয় বর্ণালী মাপনী (spectrometer)। এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশগুলি আছে (চিত্র নং 5·7)।



চিত্র 5·7

(i) **অক্ষীকারক** (Collimator)ঃ ইহা একটি ধাতব নল; নলের একপ্রান্তে আছে একটি উত্তল লেন্স L_1 এবং অপর প্রান্তে একটি সরু রেখাছিদ্র S; রেখাছিদ্র হইতে L_1 লেন্সের দূরত্ব ঐ লেন্সের ফোকাসদৈর্ঘ্যের সমান। রেখাছিদ্রের সহিত স্ক্রু থাকে যাহা দিয়া ছিদ্রকে ইচ্ছামত ছোট-বড় করা যাইতে পারে।

(ii) **ঘূর্ণি টেবল** (Turn table, P)ঃ ইহা ধাতুনির্মিত একটি গোল টেবল। ইহার উপর প্রিজম বসানো হয়। টেবলের কেন্দ্রগত একটি উল্লম্ব অক্ষ বেড়িয়া ইহা চক্রাকারে ঘুরিতে পারে। ইহাতে একটি চক্রাকার স্কেল ও ভার্নিয়ার থাকে। স্কেল ও ভার্নিয়ারের সাহায্যে টেবল অথবা প্রিজমের আবর্তকোণ মাপা যায়।

(iii) **দূরবীক্ষণ** (Telescope)ঃ ইহা একটি ছোট নভোমণ্ডলীয় (astronomical) দূরবীক্ষণ। L_2 লেন্স ইহার অভিলক্ষ্য এবং E অভিনেত্র।

(iv) **লেভেলিং স্ক্রু** (Levelling screws, S)ঃ যন্ত্রের তিনটি পায়ার সহিত তিনটি লেভেলিং স্ক্রু দেওয়া থাকে। এই স্ক্রুগুলি ঘুরাইয়া যন্ত্রকে লেভেল করা হয়।

অক্ষীকারক এবং দূরবীক্ষণকে এমনভাবে বসানো হয় যে উহাদের অক্ষ এক অনুভূমিক রেখায় থাকে এবং এক অনুভূমিক তলে থাকিয়া দূরবীক্ষণ একটি উল্লম্ব অক্ষ বেড়িয়া আবর্তন করিতে পারে। ঘূর্ণি টেবল বা প্রিজম টেবলও ঐ উল্লম্ব অক্ষ বেড়িয়া আবর্তন করে। কোন কোন উন্নত ধরনের বর্ণালীবীক্ষণে প্রিজম টেবল ও দূরবীক্ষণকে খুব ধীরে ধীরে ঘুরাইবার জন্য ট্যানজেণ্ট স্ক্রু থাকে এবং একস্থানে আবদ্ধ রাখিবার জন্য ফিক্সিং স্ক্রু (fixing screws) ব্যবস্থা থাকে।

শুদ্ধ বর্ণালী গঠন ও পর্যবেক্ষণের জন্য যন্ত্রের সমন্বয় (Adjustment for producing and observing a pure spectrum)ঃ বর্ণালীবীক্ষণের সাহায্যে শুদ্ধ বর্ণালী গঠন ও পর্যবেক্ষণের জন্য যন্ত্রের কয়েকটি প্রাথমিক সমন্বয় প্রয়োজন।

(i) লেভেলিং স্ক্রু ও স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে যন্ত্রকে লেভেল করিতে হইবে।

(ii) একবর্ণের উজ্জ্বল আলোকের সাহায্যে (সাধারণত সোডিয়াম আলো) রেখাছিদ্রকে উদ্ভাসিত করিতে হইবে।

(iii) সমান্তরাল রশ্মির জন্য অক্ষীকারক ও দূরবীক্ষণকে ফোকাস করিতে হইবে। ইহা করিতে হইলে সর্বপ্রথম, দূরবীক্ষণের অভিনেত্রকে দূরবীক্ষণ নল সংলগ্ন রেখন-তার (cross-wires) ফোকাস করা দরকার। অতঃপর দূরবীক্ষণকে কোন দূরবর্তী বস্তুর উদ্দেশ্যে অভি-মুখী করিয়া এমনভাবে ফোকাস করিতে হইবে যে ঐ বস্তুর প্রতিবিম্ব এবং রেখন-তারের ভিতর কোন দৃষ্টিভ্রম (parallax) না থাকে। দৃষ্টিভ্রম না থাকিলে বুঝিতে হইবে দূরবীক্ষণ অসীমের জন্য অর্থাৎ সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাস করা হইল। অতঃপর দূরবীক্ষণকে অক্ষীকারকের সহিত একই লাইন বরাবর বসাইয়া উভয়ের মধ্য দিয়া রেখাছিদ্র লক্ষ্য করিতে হইবে। এইবার অক্ষীকারকের সহিত যুক্ত ফোকাসিং স্ক্রু ঘুরাইয়া অক্ষীকারককে এমন অবস্থায় আনিতে হইবে যে রেখাছিদ্র এবং রেখনতারের মধ্যে কোন দৃষ্টিভ্রম না থাকে। তখন বলা যায়, অক্ষীকারক এবং দূরবীক্ষণ—উভয়কেই অসীমের প্রতি ফোকাস করা হইল। ইহার পর ঐ দুইটি অংশের আর কোন রকম নড়-চড় করা চলিবে না।

সাধারণত গবেষণাগারে বর্ণালীবীক্ষণ লইয়া কাজ করিতে হইলে অন্ধকার ঘর (dark room) প্রয়োজন। ঐরূপ অন্ধকার ঘরে দূরবর্তী বস্তু পাওয়া অসুবিধাজনক বলিয়া সচরাচর দূরবীক্ষণ ও অক্ষীকারককে সুস্টার পদ্ধতিতে (Schuster's method) অসীমের প্রতি ফোকাস করা হয়।

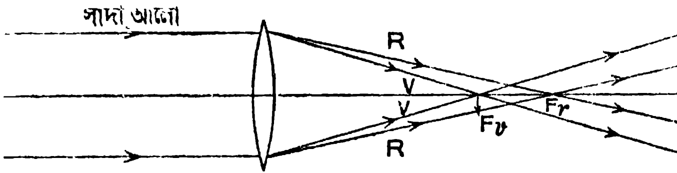
(iv) প্রিজমকে ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে বসাইতে হইবে। এই জন্য নিম্নবর্ণিত পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। প্রিজমকে প্রিজম টেবলের মধ্যস্থলে বসাইয়া উহার একটি প্রতিসারক পৃষ্ঠ অক্ষীকারকের অভিমুখী করিতে হইবে। এইবার অপর প্রতিসারক পৃষ্ঠের ভিতর দিয়া তাকাইয়া রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্ব লক্ষ্য কর এবং দূরবীক্ষণকে ঘুরাইয়া ঐ অবস্থানে আনিয়া দূরবীক্ষণের ভিতর দিয়া প্রতিবিম্ব দেখ। এখন, ধীরে ধীরে প্রিজম টেবলকে কোন এক দিকে ঘুরাও। দেখিবে প্রতিবিম্বও একদিকে সরিয়া যাইতেছে। এইভাবে সরিতে সরিতে টেবল-এর এক বিশেষ অবস্থানে দেখা যাইবে প্রতিবিম্ব মুহূর্তের জন্য স্থির হইয়াছে। প্রিজম টেবল আরো ঘুরাইয়া গেলে প্রতিবিম্ব এইবার উল্টা দিকে সরিতে সুরু করিবে। প্রতিবিম্বের ঐ প্রত্যাবর্তনের মুখে প্রিজম টেবলকে আবদ্ধ করিবার ব্যবস্থা কর। উহাই হইবে প্রিজমের ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থান।

যন্ত্রের উপরোক্ত সমন্বয় সাধনের পর সোডিয়াম আলোর পরিবর্তে রেখাছিদ্র S-কে (চিত্র নং 5·7) সাদা আলো দ্বারা উদ্ভাসিত করিতে হইবে। রেখাছিদ্র হইতে আলোকরশ্মি অক্ষীকারক লেন্স L_1-এর ভিতর দিয়া প্রতিসৃত হইবার পর সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইবে এবং ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে অবস্থিত প্রিজম-এর উপর আপতিত হইবে। প্রিজম সাদা আলো-কে বিচ্ছুরিত করিবে এবং প্রত্যেকটি বর্ণের আলোকরশ্মিগুলি সমান্তরাল রশ্মিরূপে নির্গত হইবে। অতঃপর উহারা দূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্স L_2 দ্বারা অভিনেত্র লেন্স E-এর ফোকাসতলে বিভিন্ন বিন্দুতে

একত্রীভূত হইবে। অভিনেত্র লেন্সের পশ্চাতে চোখ রাখিলে $v—r$ বর্ণালী দেখা যাইবে। এই বর্ণালী শুদ্ধ বর্ণালী।

5·7. **লেন্সে বর্ণাপেরণ (Chromatic aberration in a lens)** : লেন্সের সূত্র প্রতিষ্ঠার সময় আমরা ধরিয়া লইয়াছিলাম যে লেন্সের উপর একবর্ণ আলোকরশ্মি (monochromatic ray) আপতিত হইয়াছে। ফলে, আলোকের বিচ্ছুরণের প্রশ্ন উঠে নাই। কিন্তু আমরা জানি যে একটি লেন্স কতকগুলি ছোট ছোট প্রিজমের সমষ্টি এবং সাদা আলোর সাপেক্ষে লেন্সের ব্যবহার প্রিজমের ব্যবহারের অনুরূপ। সুতরাং লেন্সের উপর সাদা আলো আসিয়া পড়িলে প্রিজমের মত প্রতিটি রশ্মি প্রতিসরণের পর বিচ্ছুরিত হইয়া সাত বর্ণের রশ্মিতে বিভক্ত হইবে। যেহেতু বিভিন্ন বর্ণের রশ্মির চ্যুতি বিভিন্ন সেইহেতু উহারা লেন্সের প্রধান অক্ষ-কে বিভিন্ন বিন্দুতে ছেদ করিবে। ফলে, প্রতিবিম্বের ধারগুলি (edges) রঙীন হইবে এবং প্রতিবিম্বে ত্রুটি আসিবে।

5·8 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ লেন্সের উপর সমান্তরাল সাদা রশ্মি আপতিত হইলে, বেগুনী রশ্মিগুলি লেন্সের নিকটবর্তী বিন্দু F_V-তে একত্রিত হইয়া বেগুনী ফোকাস গঠন করিবে এবং লালরশ্মিগুলি একটু দূরবর্তী বিন্দু F_r-এ একত্রিত হইয়া লাল ফোকাস গঠন করিবে।



চিত্র 5·8

কোন উত্তল লেন্স দ্বারা সাদা আলোকে উদ্ভাসিত কোন বস্তুর সদবিম্ব গঠন করিতে চেষ্টা করিলে দেখা যাইবে যে লেন্স হইতে বিভিন্ন দূরত্বে কতকগুলি রঙীন প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়াছে এবং এই প্রতিবিম্বগুলির আকারও বিভিন্ন। ফলে, সমগ্র প্রতিবিম্ব অস্পষ্ট (blurred) হইয়া যাইবে। একটি পর্দাকে যদি F_V অবস্থানে রাখিয়া নির্গম রশ্মি পর্দায় ফেলা যায় তবে একটি গোলাকার আলোকিত রঙীন চক্র পাওয়া যাইবে যাহার কেন্দ্রে একটি উজ্জ্বল বেগুনী বিন্দু ও পরিধিতে লাল রঙ পাওয়া যাইবে। পর্দা F_r অবস্থানে রাখিলে, কেন্দ্রে উজ্জ্বল লালরঙের বিন্দু এবং পরিধিতে বেগুনী রং দেখা যাইবে। উভয় ক্ষেত্রেই প্রতিবিম্ব হইবে রঙীন। বিচ্ছুরণের দরুন প্রতিবিম্বের এই ত্রুটিকে বলা হয় **বর্ণাপেরণ**।

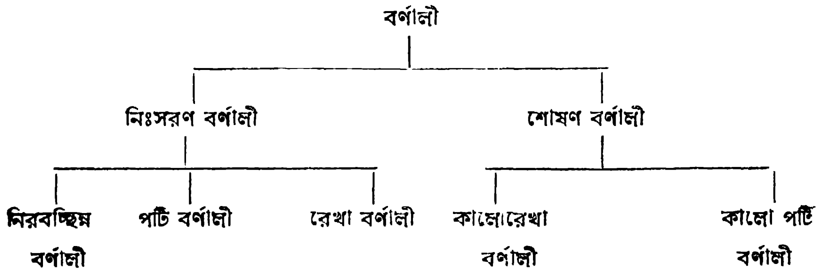
বর্ণাপেরণ নিম্নলিখিত উপায়ে দূর করা যায় :—

(i) ভিন্ন উপাদানে তৈরী একটি উত্তল এবং একটি অবতল লেন্স পরস্পরের সঙ্গে সংলগ্ন থাকিয়া যদি $\frac{\omega_1}{f_1}+\frac{\omega_2}{f_2}=0$ এই শর্ত পূরণ করে; এক্ষেত্রে ω_1 এবং ω_2 যথাক্রমে উত্তল ও অবতল লেন্সদ্বয়ের উপাদানের বিচ্ছুরণক্ষমতা এবং f_1 এবং f_2 উহাদের ফোকাস দূরত্ব।

(ii) দুইটি একই উপাদানে তৈরী উত্তল লেন্সকে সমাক্ষীয়ভাবে পরস্পর হইতে কিছু তফাতে বসাইলে যদি উহাদের দূরত্ব $x=\frac{f_1+f_2}{2}$ হয়।

5·8. **বর্ণালীর প্রকারভেদ** (Types of spectra) : বিভিন্ন বস্তু যে-বর্ণালী উৎপন্ন করে তাহাদের মোটামুটি দুইটি ভাগে ভাগ করা যায় : (i) **নিঃসরণ বর্ণালী** (emission spectra) এবং (ii) **শোষণ বর্ণালী** (absorption spectra)।

নিঃসরণ বর্ণালীকে আবার কয়েকটি শ্রেণীতে ভাগ করা হয়; যেমন, (i) **নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী** (continuous spectra) (ii) **পটি বর্ণালী** (band spectra) এবং (iii) **রেখা বর্ণালী** (line spectra)। অনুরূপভাবে, শোষণবর্ণালীকেও দুই শ্রেণীতে ভাগ করা হইয়াছে; (i) **কালো রেখা বর্ণালী** (dark line spectra) এবং (ii) **কালো পটি বর্ণালী** (daık band specta)।



এখন, আমরা এই সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করিব।

5·9. **নিঃসরণ বর্ণালী** (Emission spectra) : কোন বস্তুকে উপযুক্ত অবস্থায় এমনভাবে উদ্দীপিত করা যায় যে উহা আলো নিঃসরণ করে। ঐ আলো-কে বর্ণালীবীক্ষণের সাহায্যে পরীক্ষা করিলে যে বর্ণালী দেখা যাইবে তাহাকে নিঃসরণ বর্ণালী বলা হয়।

(i) **নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী** (Continuous spectra) : এই ধরণের বর্ণালীতে লাল হইতে বেগুনী—সাতটি বর্ণই পরপর নিরবচ্ছিন্নভাবে একটি উজ্জ্বল পটির আকারে সাজানো থাকে। বর্ণালীর উজ্জ্বলতা প্রভবের (source) তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। ভাস্বর (incandescent) কঠিন পদার্থ এবং উচ্চ চাপের তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ এই ধরণের বর্ণালী সৃষ্টি করে। যেমন, বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেন্ট, ভাস্বর গ্যাসের সাদা আলো, বৈদ্যুতিক আর্ক বাতি প্রভৃতি হইতে নির্গত আলো বর্ণালীবীক্ষণের সাহায্যে পরীক্ষা করিলে নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী দেখিতে পাওয়া যায়।

(ii) **পটি বর্ণালী** (Band spectra) : এই ধরণের বর্ণালীতেও সাতটি বর্ণ থাকে—কিন্তু ইহারা নিরবচ্ছিন্ন নয়। উহারা ছাড়া ছাড়া কয়েকটি উজ্জ্বল পটিবিশিষ্ট। এই পটিগুলির একধার খুব উজ্জ্বল এবং অপর ধারে উজ্জ্বলতা ক্রমশ কমিয়া আসে। খুব সূক্ষ্মভাবে পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে পটিগুলি খুব কাছাকাছি অবস্থিত অনেকগুলি উজ্জ্বল রেখার সমষ্টি। পটি

বর্ণালী মৌল অথবা যৌগের অণুর বৈশিষ্ট্য। সাধারণত ভাস্বর যৌগ—যেমন, সায়ানোজেন—এরূপ বর্ণালী সৃষ্টি করে। কয়েকটি বিশেষ অবস্থায় পারদবাষ্প এবং নাইট্রোজেন গ্যাসও পটি বর্ণালী গঠন করে। একটি বায়ুশূন্য নলে তনুভূত (rarefied) নাইট্রোজেন গ্যাস লইয়া উহার ভিতর দুর্বল তড়িৎ মোক্ষণ (অর্থাৎ নিম্ন ভোল্টেজে তড়িৎ মোক্ষণ) পাঠাইলে নাইট্রোজেন অণু পটি বর্ণালী গঠন করে। পটি বর্ণালী পর্যালোচনা করিয়া অণুতে পরমাণুগুলি কিভাবে আবদ্ধ থাকে সে সম্বন্ধে অনেক তথ্য জানা যায়।

(iii) **রেখা বর্ণালী** (Line spectra): এই বর্ণালীতে এক বা একাধিক উজ্জ্বল রেখা থাকে এবং প্রত্যেক দুইটি রেখার মাঝখানে কিছু অন্ধকার জায়গা থাকে (চিত্র 5·9)। মৌলিক পদার্থের গ্যাস বা বাষ্পকে ভাস্বর করিলে রেখা বর্ণালী সৃষ্টি হয়। প্রকৃতপক্ষে রেখা বর্ণালী মৌলিক পদার্থের পরমাণুর বৈশিষ্ট্য। প্রত্যেক মৌলিক পদার্থের রেখা বর্ণালীর বর্ণ ও অবস্থান সুনির্দিষ্ট। এই কারণে রেখাবর্ণালী পর্যালোচনা করিয়া পদার্থ সনাক্তকরণ সম্ভব। যেমন, বুনসেন শিখায় সাধারণ লবণ রাখিলে সোডিয়াম বাষ্প তৈয়ারী হইবে এবং দীপের বর্ণ স্বর্ণ-হলুদ (golden yellow) হইবে। ঐ আলোর বর্ণালী পরীক্ষা করিলে সাদা আলোর বর্ণালীর হলুদ অঞ্চলে দুইটি উজ্জ্বল রেখা দেখা যাইবে। এই রেখা দুইটিকে বর্ণালীর D-রেখা বলে। অন্য কোন মৌলিক পদার্থ ঐ ধরণের রেখা তৈয়ারী করিবে না। হাইড্রোজেন গ্যাসপূর্ণ টিউবে নিম্নচাপে তড়িৎ-মোক্ষণ পাঠাইলে যে-আলো সৃষ্টি হইবে তাহার বর্ণালীতে একটি লাল, একটি নীল ও বেগুনী অঞ্চলে দুইটি রেখা পাওয়া যায়।



চিত্র 5·9

অজ্ঞাত মৌল সনাক্তকরণে রেখা বর্ণালীর পর্যালোচনা খুবই গুরুত্বপর্ণ। যেমন, খাবার লবণের সহিত যদি লিথিয়াম মিশ্রিত করা যায় এবং ঐ মিশ্রণকে যদি গ্যাসদীপের সাহায্যে উদ্দীপিত করা হয় তবে যে-আলো পাওয়া যাইবে তাহার বর্ণালীতে সোডিয়ামের বৈশিষ্ট্যমূলক D-রেখা এবং লিথিয়ামের উজ্জ্বল লাল রেখা পাওয়া যাইবে। ঐ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাবর্ণালী দেখিয়া মৌল সনাক্ত করা সম্ভব।

5·10. শোষণ বর্ণালী (Absorption spectra):

(*i*) **কালো রেখা বর্ণালী** (Dark line spectra): কোন কঠিনপদার্থ হইতে নির্গত সাদা আলো যদি অপেক্ষাকৃত শীতল কোন বাষ্পের ভিতর দিয়া যায় এবং ঐ বাষ্প বা গ্যাস যদি পারমাণবিক অবস্থায় থাকে তবে ঐ গ্যাস বা বাষ্প ভাস্বর হইলে যে যে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো বিকীর্ণ করিত, সেই সেই তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো ঐ গ্যাস বা বাষ্প সাদা আলো হইতে শোষণ করিয়া লইবে। ফলে, অতিক্রান্ত সাদা আলোর বর্ণালী নিরবচ্ছিন্ন হইলেও উহার শোষিত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের জন্য মাঝে মাঝে কালো রেখা দেখা যাইবে। ঐ গ্যাস বা বাষ্প ভাস্বর হইলে বর্ণালীর যে-যে স্থানে উজ্জ্বল রেখা গঠিত হইত সেই সব অবস্থানেই কালো রেখা দেখা যাইবে। যেমন, শ্বেততপ্ত (white hot)

কার্বন আর্কবাতির সাদা আলো নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী গঠন করিবে। কিন্তু ঐ সাদা আলোর পথে যদি উত্তপ্ত সোডিয়াম বাষ্প রাখা হয় তবে পূর্বোক্ত নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী হইতে স্বর্ণহলুদ বর্ণের D-রেখা দুইটি অনুপস্থিত থাকিবে এবং ঐ স্থানে কালো রেখা দেখা যাইবে।

(ii) **কালো পটি বর্ণালী** (Dark band spectra)ঃ কোন কঠিন পদার্থ হইতে সাদা আলো যদি অপেক্ষাকৃত শীতল বস্তুর ভিতর দিয়া যায় এবং ঐ বস্তু যদি আণবিক অবস্থায় থাকে তবে ঐ বস্তু ভাস্বর হইলে যে সকল বর্ণের পটি বিকীর্ণ করিত, সাদা আলো হইতে ঐ বস্তু সেই অংশ শোষণ করিয়া লয়। ফলে, অতিক্রান্ত সাদা আলোর বর্ণালী নিরবচ্ছিন্ন হইলেও উহার শোষিত অংশের জন্য মাঝে মাঝে কালো পটি দেখা যাইবে। ঐ বস্তু ভাস্বর হইলে যে যে স্থানে উজ্জ্বল পটি গঠিত হইত সেই সব অবস্থানেই কালো পটি দেখা যাইবে। যেমন, সাদা আলোর পথে লালরঙের কাচ ধরিলে অতিক্রান্ত আলোর বর্ণালীতে লাল অংশ দেখা যাইবে; বাকী অংশে কালো পটি থাকিবে।

5·10. **সৌর বর্ণালী** (Solar spectra)ঃ সাধারণভাবে সৌর বর্ণালী লক্ষ্য করিলে, উহাকে সাতটি বর্ণের নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী বলিয়াই মনে হইবে। কিন্তু উচ্চ বিশ্লেষণী ক্ষমতাযুক্ত বর্ণালীবীক্ষণ দ্বারা লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে ঐ বর্ণালীতে অসংখ্য কালো রেখা আছে। এই কালো রেখাগুলির অবস্থান সুনির্দিষ্ট। ইহা হইতে বোঝা যায় যে সৌর বর্ণালী প্রকৃতপক্ষে কালো রেখা শোষণ বর্ণালী (dark line absorption spectrum)। এই কালো রেখাগুলি সর্বপ্রথম লক্ষ্য করেন একজন ইংরাজ বিজ্ঞানী ওল্যাস্টন 1802 খ্রীষ্টাব্দে। কিন্তু 1814 খ্রীষ্টাব্দে বিশিষ্ট জার্মান বিজ্ঞানী ফ্রনহফার এই রেখাগুলি সম্বন্ধে বিস্তারিত পর্যালোচনা করেন। এই কারণে এই রেখাগুলিকে ফ্রনহফার রেখা বলা হয়। প্রথম দিকে যে গুরুত্বপূর্ণ রেখাগুলি তিনি লক্ষ্য করিয়াছিলেন ইংরাজী বর্ণমালা অনুযায়ী তাহাদের A,B,C,D,E, প্রভৃতি নামকরণ করিয়াছিলেন। A-রেখার অবস্থান ছিল লালের এক প্রান্তে, B এবং C রেখা ছিল লাল অঞ্চলে, D রেখা হলুদ-কমলা অঞ্চলে, E সবুজ, F এবং G নীল, H এবং K রেখা বেগুনী অঞ্চলে অবস্থিত ছিল। সৌর বর্ণালীর দৃশ্য ও অদৃশ্য অংশে তিনি প্রায় 700 কালো রেখা আবিষ্কার করেন।

ফ্রনহফার রেখার উৎপত্তির কারণঃ-

সূর্যের কেন্দ্রস্থল অত্যধিক পরিমাণে উত্তপ্ত। ইহার তাপমাত্রা কয়েক কোটি ডিগ্রী সেলসিয়াস। ইহাকে বলা হয় **আলোকমণ্ডল** (Photosphere)। ইহাকে ঘিরিয়া আছে অপেক্ষাকৃত শীতল গ্যাসীয় আবরণ। ইহার তাপমাত্রা কয়েক হাজার ডিগ্রী সেলসিয়াস। ইহাকে বলা হয় **বর্ণমণ্ডল** (chromosphere)। এখন শ্বেততপ্ত আলোকমণ্ডল হইতে সাদা আলো বর্ণমণ্ডল ভেদ করিয়া পৃথিবীতে আসার সময় বর্ণমণ্ডলে উপস্থিত বিভিন্ন গ্যাস কর্তৃক অংশত শোষিত হয়। গ্যাসগুলি সাদা আলো হইতে নিজস্ব বর্ণালীর বর্ণতরঙ্গগুলি শোষণ করিবে। কাজেই, অতিক্রান্ত আলো পৃথিবীতে পৌঁছাইলে উহার বর্ণালী নিরবচ্ছিন্ন হইবে ঠিকই; কিন্তু শোষিত অংশে কালো রেখা দেখা যাইবে। এই রেখাগুলিই ফ্রনহফার রেখা।

সৌরবর্ণালীর কয়েকটি ফ্রনহফার রেখার সহিত পৃথিবীতে পরিচিত কতকগুলি মৌলিক পদার্থের বর্ণালীর উজ্জ্বল রেখার অবস্থানের অবিকল মিল আছে। ইহা হইতে বোঝা যায় যে সূর্যের বর্ণমণ্ডলে পৃথিবীর ঐ মৌলিক পদার্থগুলি রহিয়াছে। যেমন সৌর বর্ণালীর লাল অঞ্চলে অবস্থিত A এবং B ফ্রনহফার রেখা হইতে বলা যায় যে সৌর আবহমণ্ডলে অক্সিজেন আছে কারণ বায়ুশূন্য নলে অক্সিজেন গ্যাস লইয়া উহার ভিতর তড়িৎমোক্ষণ পাঠাইলে অক্সিজেন যে-রেখা বর্ণালী সৃষ্টি করে তাহার সহিত A এবং B রেখার অবস্থানগত মিল আছে। তেমনি, সৌর বর্ণালীর হলুদ-কমলা অঞ্চলে D-রেখার অবস্থিতি হইতে জানা যায় যে সৌর আবহমণ্ডলে সোডিয়াম আছে কারণ গবেষণাগারে প্রস্তুত সোডিয়াম বর্ণালীর D-রেখার সহিত ঐ রেখার অবস্থানগত মিল আছে।

এইভাবে সৌর বর্ণালী পর্যালোচনা করিলে দেখা যাইবে যে সূর্যের আবহমণ্ডলে পৃথিবীর অনেক মৌলিক পদার্থ—যেমন হাইড্রোজেন, লৌহ, ক্যালসিয়াম, তামা, দস্তা প্রভৃতি বর্তমান। কিন্তু সোনা, রূপা বা পারদের অস্তিত্বের কোন পরিচয় পাওয়া যায় নাই।

একথা উল্লেখযোগ্য যে, সকল ফ্রনহফার রেখাই সৌর বর্ণমণ্ডলের গ্যাস কর্তৃক শোষণের ফলে উৎপন্ন হইয়াছে, একথা ঠিক নয়। পৃথিবীর আবহমণ্ডলের অক্সিজেন ও জলীয়-বাষ্পের দ্বারা শোষণের ফলেও কিছু কালো রেখা তৈয়ারী হয়। ইহাদের বলা হয় **টেলুরিক রেখা** (telluric lines)। সুউচ্চ স্থান (9000 ফুটেরও বেশী উঁচু) হইতে বর্ণালী পর্যবেক্ষণ করিলে ঐ রেখাগুলি খুবই নিষ্প্রভ দেখা যায়।

5·12. **বিভিন্ন বস্তুর বর্ণ** (Colour of different bodies)ঃ আমরা প্রতিদিন নানাবর্ণের বিভিন্ন বস্তু দেখি। লাল ফুল, নীল কাগজ, সবুজ কাচ ইত্যাদি বহু প্রকার বর্ণের জিনিস আমরা দেখিতে পাই। এই সকল বস্তুর বর্ণ কিরূপে সৃষ্টি হয়?

যে-সকল বস্তু অস্বচ্ছ তাহারা যে বর্ণের আলোকরশ্মিকে প্রতিফলিত করে সেই রংয়ে রঙীন হয়। যেমন, লাল ফুল আমরা লাল দেখি, কারণ, সাদা আলো ঐ ফুলের উপর পড়িলে ফুল শুধু লাল বর্ণের আলো-কে প্রতিফলিত করে—অন্যান্য বর্ণের আলো-কে শুষিয়া লয়। কিন্তু ঐ ফুলের উপর নীল রংয়ের আলো ফেলিলে ফুলকে আর লাল দেখাইবে না, কালো দেখাইবে—কারণ, ফুল ঐ অবস্থায় নীল আলো-কে শোষণ করিয়া লইবে এবং কোন আলোই প্রতিফলিত করিবে না। তেমনি সবুজ কাপড় শুধু সবুজ বর্ণের আলো-কে প্রতিফলিত করিবে—অন্যান্য বর্ণের আলোক-রশ্মিকে শুষিয়া লইবে। তবে কাপড় বা অন্যান্য জিনিস কালো বা সাদা দেখায় কেন? মনে রাখিতে হইবে, **সাদা বা কালো কোন বিশেষ বর্ণ নয়**। কোন বর্ণ না থাকিলে জিনিস কালো দেখাইবে—আর সকল বর্ণ উপস্থিত থাকিলে ঐ জিনিসকে সাদা দেখাইবে। কালো কাপড়ের উপর যখন সাদা আলো পড়ে তখন ঐ কাপড় সাদা আলোর সাতটি রংয়ের আলোকরশ্মিকেই শুষিয়া লয়—কোন আলোকরশ্মিকেই প্রতিফলিত করে না। তাই উহাকে কালো দেখায়। আবার, সাদা কাপড়ের উপর সাদা আলো পড়িলে, ঐ কাপড় সাতটি রংয়ের আলোকরশ্মিকেই প্রতিফলিত করে। সুতরাং উহাকে সাদা দেখায়।

কিন্তু যে সকল বস্তু স্বচ্ছ—যেমন কাচ ইত্যাদি—তাহারা যে-বর্ণের আলোকরশ্মিকে নিজের ভিতর দিয়া প্রেরণ (transmit) করিবে সেই রং-এর রঙিন হইবে। লাল রং-এর কাচের

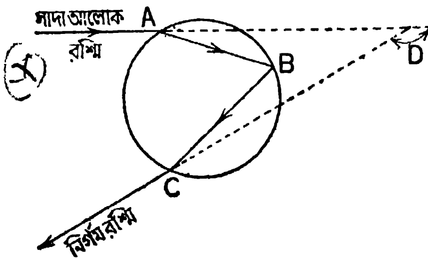
উপর সাদা আলো পড়িলে, উহার ভিতর দিয়া শুধু লাল রং-এর আলো চলিয়া যাইবে—অন্য বর্ণের আলো যাইবে না। তাই কাচকে লাল দেখাইবে। কিন্তু উহার উপর অন্য যে-কোন বর্ণের আলো পড়িলে কাচটি আর লাল দেখাইবে না—কালো দেখাইবে। একখানি লাল কাচ এবং একখানি সবুজ কাচ পর পর রাখিয়া উহাদের সূর্যালোকের দিকে ধর। দেখিবে উহাদের কালো দেখাইতেছে। কারণ, প্রথমে লাল কাচ লালবর্ণের রশ্মিকে নিজের ভিতর দিয়া যাইতে দিবে; কিন্তু উহা যখন পরের সবুজ কাচের উপর পড়িবে তখন আর ঐ কাচের ভিতর দিয়া নির্গত হইতে পারিবে না। তাই, উহাদের একসঙ্গে রাখিলে কালো দেখাইবে। ইহা প্রমাণ করে স্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ ঐ বস্তুর ভিতর দিয়া নির্গত আলোকরশ্মির বর্ণের উপর নির্ভর করে।

এখানে উল্লেখযোগ্য, তিনটি বিশেষ বর্ণ যথোপযুক্তভাবে মিশাইলে যে-কোন বর্ণ সৃষ্টি করা যায়। এই তিনটি বিশেষ বর্ণ হইতেছে লাল, সবুজ এবং নীল। ইহাদের বলা হয় **প্রাথমিক বর্ণ** (primary colours)।

তা ছাড়া, যদি দুইটি বর্ণের মিশ্রণে সাদা বর্ণের সৃষ্টি হয় তবে ঐ বর্ণ দুইটিকে বলা হয় **পরিপূরক বর্ণ** (complementary colours)। যেমন হলুদে এবং গাঢ়নীল অথবা কমলা এবং নীল মিশাইলে সাদা বর্ণের সৃষ্টি হইবে। ইহারা পরিপূরক বর্ণ।

5·12. **রামধনু** (Rainbow)ঃ সকালের দিকে বা বিকালের দিকে যখন আকাশের একপ্রান্তে বৃষ্টি পড়ে এবং বিপরীত প্রান্ত হইতে সূর্যরশ্মি আসিয়া পড়ে তখন রামধনুর সৃষ্টি হয়, তাহা তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। ইহা আর কিছুই নয়, আকাশের গায়ে ধনুকের ন্যায় বাঁকানো বিভিন্ন বর্ণের সারি।

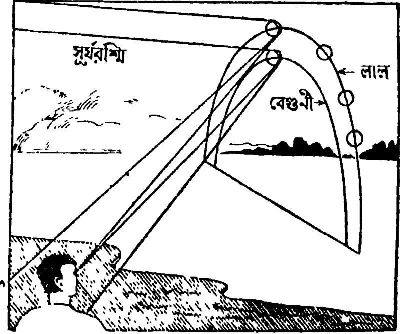
এই রামধনুর সৃষ্টি সাদা আলোকের বিচ্ছুরণের জন্য হইয়া থাকে। মনে কর, একটি সাদা সূর্যরশ্মি একটি গোলাকার বৃষ্টির ফোঁটার উপর A বিন্দুতে পড়িল। রশ্মি ফোঁটার ভিতরে প্রবেশ করিলে প্রতিসৃত হইবে এবং B বিন্দু হইতে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় ফোঁটার উপর C বিন্দুতে আপতিত হইবে। রশ্মিটি ফোঁটার ভিতর হইতে বায়ুতে প্রবেশ করিলে পুনরায় প্রতিসৃত হইবে (5·10 নং চিত্র)। এই প্রতিসরণের ফলে রশ্মি বিভিন্ন রঙে বিভক্ত হইবে, যেমন, সাদা রশ্মি প্রিজমের ভিতর প্রতিসৃত হইলে বিভক্ত হয়। চিত্র হইতে বোঝা যায়, রশ্মি ফোঁটা হইতে বাহির হইলে উহার পথের বিচ্যুতি হয়। এই চ্যুতির পরিমাণ $\angle D$ (চিত্র দেখ)।



চিত্র 5·10

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, কোন বিশেষ বর্ণের রশ্মি যদি ন্যূনতম চ্যুতি লইয়া নির্গত হয় এবং মানুষের চোখে পৌঁছায় তবে চোখে ঐ বর্ণের প্রবল অনুভূতি হয়। হিসাব করিলে দেখা যাইবে, লালবর্ণের ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ প্রায় 138° এবং বেগুনী বর্ণের ন্যূনতম চ্যুতিকোণ প্রায় 140°।

এখন, মনে কর, আকাশের এক প্রান্তে বৃষ্টি হইতেছে এবং বিপরীত প্রান্ত হইতে সূর্যরশ্মি বৃষ্টির কণাগুলির উপর পড়িতেছে। একজন দর্শক সূর্যের দিকে পিছন ফিরিয়া এবং বৃষ্টির দিকে মুখ করিয়া দাঁড়াইয়া আছে (5·11 নং চিত্র)। দর্শকের পক্ষে আকাশের গায়ে এমন একটি বৃত্তের চাপ (arc of a circle) কল্পনা করিতে হইবে যে-চাপের উপর অবস্থিত জল-বিন্দুগুলির দ্বারা সূর্যরশ্মি 138° চ্যুতি কোণে দর্শকের চোখে পৌঁছায়। তাহা হইলে ঐ জল-বিন্দুগুলি দর্শকের নিকট লাল বলিয়া প্রতিভাত হইবে, এবং দর্শক একটি লাল রংয়ের ধনুকের মত বাঁকানো বৃত্তাংশ দেখিতে পাইবে। জলকণাগুলি অন্য কোন রঙের রশ্মি দর্শকের চোখে পাঠাইবে না, কারণ, অন্য রঙের রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ 138° নয়। তেমনি যদি আর একটি বৃত্তের চাপ কল্পনা করা যায় যে-চাপের উপর অবস্থিত জলবিন্দুগুলি দ্বারা সূর্যরশ্মি 140° চ্যুতি-কোণে দর্শকের চোখে পৌঁছায় তবে দর্শক ঐ বৃত্তাংশকে বেগুনী রঙের দেখিবে। এইভাবে অন্যান্য রঙের বৃত্তাংশও দর্শকের চোখে প্রতিভাত হইবে। ইহাকে প্রাথমিক (primary) রামধনু বলে। কখন কখন প্রাথমিক রামধনুর উপরে আর একটি অস্পষ্ট রামধনু দেখিতে পাওয়া যায়। ইহাকে গৌণ (secondary) রামধনু বলে।



চিত্র 5·11

প্রাথমিক রামধনুর বৃত্তের বাহিরের দিকে লাল এবং ভিতরের দিকে বেগুনী বর্ণ থাকে। অন্যান্য বর্ণগুলি এই দুই বর্ণের মাঝখানে নিজস্ব জায়গা অধিকার করিয়া থাকে। গৌণ রামধনুতে বর্ণের সজ্জা ইহার উল্টা, অর্থাৎ বৃত্তের বাহিরে থাকে বেগুনী এবং ভিতরে থাকে লাল।

প্রশ্নাবলী

1. আলোকের বিচ্ছুরণ বলিতে কি বুঝায়? বর্ণালী কাহাকে বলে?

[*H. S.* (*Comp*) *1962, 64, 66.* (*Comp*)]

2. সাদা আলোকের যৌগিক প্রকৃতি কিরূপে প্রমাণ করা যায়?

3. শুদ্ধ ও অশুদ্ধ বর্ণালী কাহাকে বলে? পর্দার উপর শুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবার প্রণালী বর্ণনা কর। [*H. S.* (*Comp.*) *1962, '64*]

4. আলোকের বিচ্ছুরণ বলিতে কি বুঝায়? রামধনুর কি কি রং দেখা যায়? সাদা আলোতে রামধনুর সব কয়টি রং আছে তাহা প্রমাণ করিবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। উহার একটি পরিষ্কার ছবি আঁক। [*H. S. Exam. 1962, cf. 66*]

5. সহজ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর যে বিভিন্ন বস্তুর বর্ণ নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে :—(ক) যে বর্ণের আলো বস্তুর উপর আপতিত হয়। (খ) বস্তু অস্বচ্ছ হইলে, যে বর্ণের

আলো বস্তু কর্তৃক প্রতিফলিত হয়। (গ) বস্তু স্বচ্ছ হইলে যে বর্ণের আলো বস্তুর ভিতর দিয়া নির্গত হয়।

6. বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র বর্ণনা কর এবং ইহার সমন্বয় ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

7. বিভিন্ন প্রকারের বর্ণালী বর্ণনা কর এবং প্রত্যেকের একটি করিয়া উদাহরণ দাও। নিম্নলিখিত উৎস কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালীর সাধারণরূপ বর্ণনা কর (i) একটি প্রদীপ্ত কঠিন পদার্থ (ii) নিম্নচাপে গ্যাসপূর্ণ মোক্ষণ নল।

8. নিম্নলিখিত উৎস কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালীর প্রকৃতি কিরূপ হইবে? (i) সূর্য (ii) বৈদ্যুতিক বাল্‌ব (iii) একটি নিয়ন বাতি (iv) বুনসেন শিখায় রাখা সোডিয়াম লবণ।

9. লেন্সে বর্ণাপেরণ বলিতে কি বোঝ? ইহা কিরূপে দূর করা যায়?

10. সৌরবর্ণালীর প্রকৃতি বর্ণনা কর। ফ্রনহফার রেখা ও টেলুরিক রেখা কাহাকে বলে? উহাদের উৎপত্তির কারণ লেখ।

[OBJECTIVE TYPE QUESTIONS]

A. Alternate response type :

Yes or No type :

(ক) সকল মাধ্যমে আলোর গতিবেগ কি সমান?

(খ) আলো-কে কি একপ্রকার শক্তি বলিয়া গণ্য করা সম্ভব?

(গ) বর্ণালীর বিভিন্ন বর্ণের চ্যুতি কি তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে?

(ঘ) লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে আলোকরশ্মি প্রবেশ করিলে রশ্মির গতিপথ কি আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায়?

(ঙ) এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হইলে রশ্মির সব অংশই কি প্রতিফলিত হয়?

B. Recall type :

(ক) প্রতিফলনের সময় আপতন কোণ সর্বদা প্রতিফলন কোণের — হইবে।

(খ) আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসৃত কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা—হয়।

(গ) উত্তল লেন্সকে — লেন্স বলা হয়।

(ঘ) সাদা আলো প্রিজমের ভিতর দিয়া গেলে — রঙে বিভক্ত হয়।

C. Completion type :

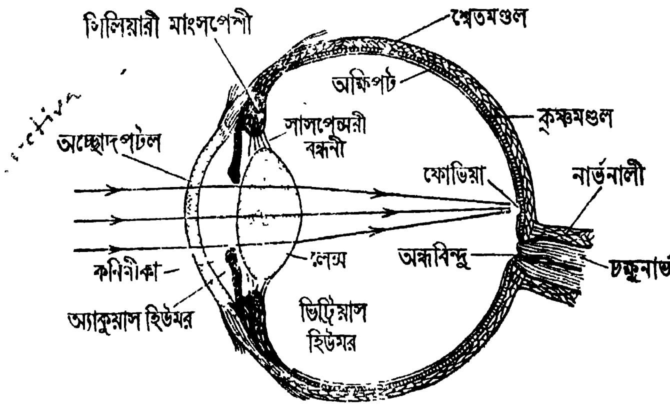
(ক) যখন কোন বিন্দু—(*a*) হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ—(*b*) বা প্রতিসৃত হইয়া অন্য কোন বিন্দুতে—(*c*) হয় বা অন্য কোন বিন্দু হইতে—(*d*) হইতেছে বলিয়া মনে হয়, তখন ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দু প্রভবের—(*e*) বলা হয়।

—(*a*)—(*b*)—(*c*)—(*d*)—(*e*)

মানুষের চোখ ও বিবিধ আলোকীয় যন্ত্র

(Human eye and various optical instruments)

6·1. **মানুষের চোখ** (Human eye)ঃ মানুষের চোখ ঈশ্বরের এক অপূর্ব সৃষ্টি। ইহাকে মানুষের তৈরী ক্যামেরার (6·5 অনুচ্ছেদ) সহিত তুলনা করা যাইতে পারে। ক্যামেরার সম্মুখে কোন বস্তু রাখিলে যেমন ফোটোগ্রাফী প্লেটে উহার ছবি ওঠে, তেমনি চোখের সম্মুখে কোন বস্তু রাখিতে চোখের অক্ষিপটে (retina) উহার ছবি ওঠে এবং বস্তুটি সম্বন্ধে আমাদের দর্শনানুভূতি হয়। নিম্নে চোখের কয়েকটি প্রধান অংশের আলোচনা করা হইল [চিত্র 6·1]।



6·1

চোখের আকার প্রায় গোল এবং ইহা একটি **কোটরের** (socket) মধ্যে ঘুরিতে পারে। অক্ষিগোলক একটি মজবুত, সাদা এবং অস্বচ্ছ আবরণের দ্বারা আবৃত। ইহাকে **শ্বেতমণ্ডল** (sclera) বলে। ইহার মধ্যস্থান স্বচ্ছ। ঐ স্বচ্ছ অংশকে বলা হয় **অচ্ছোদপটল** (cornea)। অচ্ছোদপটলের পশ্চাতে একখানি অস্বচ্ছ পর্দা আছে। ইহার নাম **কণিনীকা** (iris)। এই পর্দার রং কালো অথবা নীল। চোখের রং বলিতে এই রং-ই বুঝায়। কণিনীকার মাঝখানে একটি ছিদ্র আছে। মাংসপেশীর সাহায্যে ঐ ছিদ্রকে ছোট বা বড় করা যায়। তাহার ফলে চোখে কম বা বেশী আলো প্রবেশ করিতে পারে। এই ছিদ্রকে বলা হয় চোখের **মণি** (pupil)। ইহার পিছনেই আছে একটি **উত্তল লেন্স**। ইহা স্বচ্ছ জৈব পদার্থ দ্বারা গঠিত। লেন্সের পশ্চাৎভাগের বক্রতা সম্মুখভাগের বক্রতা অপেক্ষা কিছু বেশী। লেন্সটি অক্ষিগোলকের সহিত **সিলিয়ারী মাংসপেশী** (ciliary muscles) এবং **সাসপেন্সরী বন্ধনী** (suspensory ligaments) দ্বারা যুক্ত। এই মাংসপেশী ও বন্ধনী-

গুলির সংকোচন ও প্রসারণের ফলে লেন্সের বক্রতা পরিবর্তিত হয় এবং উহা লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিতে সাহায্য করে। দূরের এবং কাছের বস্তু দেখিবার জন্য লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিবার প্রয়োজন হয়। লেন্সের পশ্চাতে আছে **অক্ষিপট** (retina)। এই অক্ষিপট অক্ষিগোলকের সর্বাপেক্ষা অন্তর্বর্তী পর্দা। ইহা কতকগুলি নার্ভতন্ত্র দ্বারা তৈরী এবং আলোক-সুবেদী। ইহা **চক্ষুনার্ভের** (optic nerves) সহিত যুক্ত। অক্ষিপটের এক স্থানে একটু হলদে রংয়ের ছাপ আছে। ইহাকে বলা হয় **হলদে বিন্দু** (yellow spot) এবং ইহার কেন্দ্রস্থল একটু চাপা। এই অংশের নাম **ফোভিয়া সেন্ট্রালিস** (fovea centralis) এবং এই অংশ আলোক-রশ্মি সম্পর্কে সর্বাপেক্ষা বেশী সুবেদী। ইহার নিকটে—প্রায় চক্ষুনার্ভের কাছাকাছি একটি অংশ আছে যাহা আলোকের উত্তেজনায় মোটেই সাড়া দেয় না। ইহাকে বলে **অন্ধবিন্দু** (blind spot)।

চক্ষু লেন্স ও অচ্ছোদপটলের মধ্যবর্তী অংশ একপ্রকার স্বচ্ছ, জলীয় এবং লবণাক্ত পদার্থ দ্বারা পূর্ণ। চোখের জল বলিতে আমরা ইহাকেই বুঝি। এই জলীয় পদার্থকে বলা হয় **অ্যাকুয়াস হিউমর** (aqueous humor)। চক্ষুলেন্স ও অক্ষিপটের মধ্যবর্তী অংশও আর একটি থকথকে (jelly-like) পদার্থ দ্বারা পূর্ণ। ইহাকে বলা হয় **ভিট্রিয়াস হিউমর** (vitreous humor)।

অক্ষিগোলকের অন্তর্বর্তী অংশে কালো রংয়ের একখানি পর্দা থাকে। ইহাকে বলা হয় **কৃষ্ণমণ্ডল** (choroid)। অক্ষিপট ছাড়া অক্ষিগোলকের অন্য কোথাও আলোকরশ্মি পড়িলে কৃষ্ণমণ্ডল উহা শোষণ করিয়া লয়। অচ্ছোদপটল ও চক্ষুলেন্সের কেন্দ্রবিন্দুদ্বয় যুক্ত করিলে যে সরলরেখা হয় তাহাকে বলা হয় **আলোক অক্ষ** (optic axis)। ফোভিয়া সেন্ট্রালিস ও চক্ষুলেন্সের কেন্দ্রবিন্দুদ্বয় যুক্ত করিয়া যে-সরলরেখা পাওয়া যায় তাহাকে **বীক্ষণ অক্ষ** (visual axis) বলা হয়।

চোখের কার্য (Function of the eye)ঃ অচ্ছোদপটল, লেন্স, অ্যাকুয়াস এবং ভিট্রিয়াস হিউমর—সব মিলিয়া একটি অভিসারী প্রতিসারক মাধ্যম সৃষ্টি করে। যখনই চোখের সম্মুখে কোন বস্তু আসে তখন ঐ বস্তু হইতে আলোকরশ্মি ঐ মাধ্যম দ্বারা প্রতিসৃত হইয়া অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠন করে। অক্ষিপটে আলো পড়িলে, ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কোণ এবং রড (cones and rods) ঐ আলো গ্রহণ করিয়া উহাকে তড়িতে পরিণত করে। প্রত্যেকটি কোণ ও রড এক একটি নার্ভের সঙ্গে যুক্ত। ঐ নার্ভ তড়িতকে নার্ভনালীর মধ্য দিয়া মস্তিষ্কে সংবাহিত করে। কিভাবে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কোণ ও রড আলোকশক্তিকে তড়িৎপাদে (electric impulse) রূপান্তরিত করে এবং কি পদ্ধতিতে মস্তিষ্ক ঐ তড়িৎপাদ হইতে দর্শনানুভূতি উৎপন্ন করে তাহা সঠিকভাবে এখনও জানা যায় নাই। তবে পরীক্ষা হইতে জানা গিয়াছে যে কোণগুলি তীব্র আলো-তে সাড়া দেয় এবং রংয়ের অনুভূতি ও রঙের পার্থক্য বুঝাইয়া দেয়; আর রডগুলি ক্ষীণ আলোতে সংবেদনশীল এবং বস্তুর নড়াচড়া এবং আলোর তীব্রতার সামান্য হ্রাসবৃদ্ধি বুঝাইয়া দেয়।

অক্ষিপটে যে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা সদ্ ও অবশীর্ষ; তথাপি মস্তিষ্কের এক অনধিগম্য প্রক্রিয়ার ফলে বস্তুকে আমরা সমশীর্ষ দেখিতে পাই।

6·2. **চক্ষুর উপযোজন** (Accomodation)ঃ দূরের এবং কাছের জিনিসকে অক্ষিপটে ফোকাস করিয়া দৃষ্টির গোচরে আনার ক্ষমতাকে চক্ষুর উপযোজন বলা হয়। ক্যামেরাতে প্লেট বা ফিল্মের উপর বস্তুর ছবিকে ফোকাস করা হয় ক্যামেরার লেন্সকে প্লেট বা ফিল্মের কাছে বা দূরে সরাইয়া। মানুষের চোখের বেলায় এই ফোকাসিং করা হয় চক্ষু লেন্সের আকারের পরিবর্তন করিয়া। মাংসপেশী এবং বন্ধনীর যে জটিল ব্যবস্থা আছে তাহাই এই কার্য সম্পাদন করে। লেন্সের চতুষ্পার্শ্বস্থ সিলিয়ারী মাংসপেশীর সংকোচন হইলে লেন্স খানিকটা পাশে ফুলিয়া ওঠে। তখন উহার ফোকাস দৈর্ঘ্য হ্রাস পায় এবং নিকটের বস্তুকে অক্ষিপটে ফোকাস করে। মাংসপেশীর চাপ অপসারিত হইলে, সাসপেন্সারী বন্ধনী লেন্সের ধারগুলিকে টান দেয় এবং লেন্স খানিকটা চাপা (flat) হইয়া পড়ে। ইহাতে লেন্সের ফোকাসদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায় এবং দূরের বস্তুকে অক্ষিপটে ফোকাস করিতে সক্ষম হয়।

কিন্তু মানুষের চোখের উপযোজন সীমিত। দেখা গিয়াছে যে, চোখকে শ্রান্ত না করিয়া আপনা হইতে উপযোজন ক্ষমতা প্রয়োগ করিয়া মানুষ বহুদূর হইতে প্রায় 25cm. পর্যন্ত সকল দূরত্বের জিনিস স্পষ্ট দেখিতে পায়। কিন্তু বস্তুকে চোখের খুব কাছে আনিলে উহাকে দেখিতে চোখের পক্ষে কষ্ট হয়। সেইজন্য খুব কাছের কোন জিনিসকে বেশীক্ষণ দেখিতে চেষ্টা করিলে চোখে ব্যথা বোধ হয়। চোখ হইতে 25cm দূরত্ব—অর্থাৎ যে-দূরত্ব পর্যন্ত চোখ বিনা শ্রান্তিতে স্পষ্ট দেখিতে পায়—সেই দূরত্বকে **স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম দূরত্ব** (least distance of distinct vision) বলা হয়।

চোখ হইতে প্রায় 25cm. দূরে যে বিন্দু থাকিবে, উহাকে **নিকট বিন্দু** (near point) এবং বিনা শ্রান্তিতে চোখ সর্বাপেক্ষা দূরের যে বিন্দু পর্যন্ত দেখিতে পায় তাহাকে **দূরবিন্দু** (far point) বলে। সুস্থ চোখের পক্ষে দূরবিন্দু অসীমে অবস্থিত ধরা হয়। নিকট বিন্দু হইতে দূর বিন্দু পর্যন্ত এই দূরত্বকে বলা হয় **দৃষ্টিপাল্লা** (visual range)। এই পাল্লার ভিতর যেখানেই বস্তু থাকুক না কেন, চোখ উহাকে স্পষ্ট দেখিতে পাইবে।

6·3. **দৃষ্টি নির্বন্ধ বা দৃষ্টির স্থায়িত্ব** (Persistence of vision)ঃ কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে গঠিত হইলে চক্ষুনার্ভ মস্তিষ্কে ঐ বস্তু সম্বন্ধে যে দর্শনানুভূতি সৃষ্টি করে বস্তু সরাইয়া লইবার সঙ্গে সঙ্গে তাহা নষ্ট হইয়া যায় না; উহা মস্তিষ্কে প্রায় $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড সময় পর্যন্ত স্থায়ী হয়। ইহাকে **দৃষ্টিনির্বন্ধ** বা **দৃষ্টির স্থায়িত্ব** বলে। ইহার ফলে দুইটি বিচ্ছিন্ন ঘটনা যদি চোখের সম্মুখে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড সময়ের ভিতর ঘটিয়া যায় তবে চোখ উহাদের বিচ্ছিন্ন দেখিবে না, একটানা ঘটনা দেখিবে, কারণ প্রথম ঘটনার অনুভূতি মস্তিষ্কে থাকিতে থাকিতে দ্বিতীয় ঘটনার অনুভূতি আসিয়া পড়িবে। এই কারণে চোখের সম্মুখে একটি মশাল জোরে ঘুরাইলে আমরা চোখে একটি উজ্জ্বল অগ্নিশিখার বৃত্ত দেখি—যদিও শিখা বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন জায়গা অধিকার করিয়া থাকে।

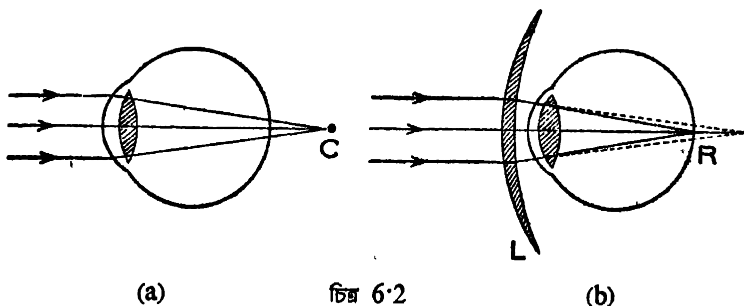
এই প্রসঙ্গে উল্লেখ করা যাইতে পারে যে, চলচ্চিত্রে আমরা যে একটানা ঘটনার ছবি দেখি তাহা এই দৃষ্টির স্থায়িত্বের জন্য। কোন ঘটনার বিচ্ছিন্ন অংশের অনেকগুলি ছবি তুলিয়া চোখের

সম্মুখে উহাদের $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড সময়ের মধ্যে সরাইয়া লইয়া গেলে আমরা পর্দায় একটানা ঘটনার ছবি দেখিতে পাইব। দৃষ্টির স্থায়িত্বের প্রসঙ্গে শব্দনির্বন্ধ বা শব্দের স্থায়িত্বের (persistence of hearing) কথা উল্লেখযোগ্য। শ্রবণানুভূতিও দৃষ্টির মত $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড স্থায়ী হয়।

6·4. **দৃষ্টির ত্রুটি এবং উহাদের প্রতিকার** (Defects of vision and their remedies): স্বাভাবিক এবং সুস্থ চোখের নিকট-বিন্দু চোখ হইতে প্রায় 25cm দূরে এবং দূরবিন্দু অসীমে অবস্থিত। এই বিস্তীর্ণ দৃষ্টি-পাল্লার ভিতর যেখানেই বস্তু থাকুক চোখে উহাকে দেখিতে পাইবে। যদি কোন চোখের দৃষ্টিপাল্লা ইহা অপেক্ষা কম হয়, তবে সেই চোখ ত্রুটিযুক্ত। এই ত্রুটি প্রধানত দুই রকমের। যথা:—(i) **দীর্ঘ দৃষ্টি** বা **হাইপারমেট্রোপিয়া** (long sight or hypermetropia) এবং (ii) **স্বল্প দৃষ্টি** বা **মাইওপিয়া** (short sight or myopia)।

ইহা ছাড়া আরও দুই রকমের ত্রুটি আছে। ইহাদের নাম (i) **বিষম দৃষ্টি** বা **অ্যাসটিগম্যাটিজম** (astigmatism) এবং (ii) **ক্ষীণ দৃষ্টি** বা **চালশে** বা **প্রেস-বাইওপিয়া** (presbyopia)। নিম্নে ইহাদের প্রকৃতি এবং প্রতিকারের ব্যবস্থা আলোচনা করা হইল।

(i) **দীর্ঘ দৃষ্টি** (long sight): বিভিন্ন কারণে কোন কোন লোকের চোখের অবস্থা এমন হয় যে চোখের অক্ষিগোলকের সাইজ ছোট হইয়া যায় অথবা চক্ষুলেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়। ফলে দূরের কোন বস্তু হইতে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ ঐ চোখে পড়িলে অক্ষিপটের পিছনে—যেমন C বিন্দুতে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় [চিত্র নং 6·2(a)]। চোখের এই ত্রুটিকে বলা হয় দীর্ঘ

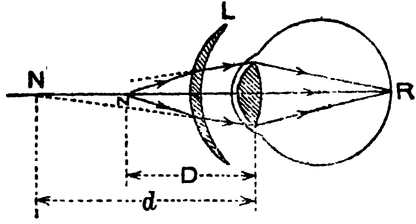


চিত্র 6·2

দৃষ্টি। এই ত্রুটি অপসারণের জন্য চোখের সম্মুখে উপযুক্ত ফোকাস দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্স রাখিতে হইবে। দূরবর্তী বস্তু হইতে আগত সমান্তরাল রশ্মি ঐ লেন্স দ্বারা কিছুটা অভিসারী হইবে এবং চোখের লেন্স ঐ অভিসারী রশ্মিকে অক্ষিপটে (R) ফোকাস করিবে [চিত্র 6·2(b)]; তখন ঐ চোখ দূরের বস্তু স্পষ্ট দেখিতে পাইবে।

নিকটের বস্তু দেখিতে হইলে ঐ চোখকে আরও বেশী ক্ষমতার উত্তল লেন্স ব্যবহার করিতে

হইবে। ইহা 6·3 নং চিত্রে ব্যাখ্যা করা হইল। দীর্ঘদৃষ্টিত্রুটিযুক্ত চোখের নিকট বিন্দু (N′) স্বাভাবিক নিকটবিন্দু (N) হইতে দূরে অবস্থিত। চোখের সম্মুখে রাখা লেন্সটির (L) ফোকাস দৈর্ঘ্য এমন হইতে হইবে যে (N) বিন্দু হইতে আগত আলোকরশ্মি L লেন্স দ্বারা প্রতিসৃত হইবার পর চোখের লেন্সে পৌঁছাইলে রশ্মিগুলি যেন N′ বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হয়।



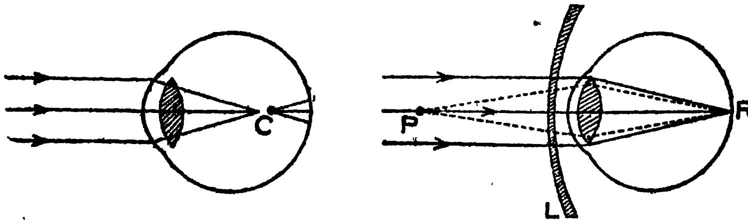
চিত্র 6·3

এইরূপ ব্যবস্থা করিতে পারিলে চোখ দেখিবে যেন ঐ বস্তু এমন জায়গায় আছে যে পর্যন্ত সে খালি চোখে দেখিতে পায়। এখন 6·3 নং চিত্র হইতে বোঝা যায় যে, N বস্তুবিন্দু হইলে, N′ হইবে L লেন্স দ্বারা সৃষ্ট উহার অসদবিম্ব। এখন D যদি সুস্থ চোখের স্পষ্টদর্শনের নিম্নতম দূরত্ব হয় এবং d যদি ত্রুটিযুক্ত চোখের স্পষ্টদর্শনের নিম্নতম দূরত্ব হয়, তবে,

$$\frac{1}{d}-\frac{1}{D}=-\frac{1}{f}$$ [f=L লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য] $\therefore \frac{1}{f}=\frac{1}{D}-\frac{1}{d}=\frac{1}{25}-\frac{1}{d}$

(ii) **স্বল্প দৃষ্টি** (Short sight) : কোন লোকের চোখের অক্ষিগোলক সাইজে বড় হইয়া গেলে অথবা চক্ষু-লেন্সের ফোকাসদৈর্ঘ্য কোন কারণে হ্রাস পাইলে, ঐ চোখ বহু দূরের বস্তু ভাল দেখিতে পাইবে না, কারণ বস্তু হইতে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ চোখের লেন্স দ্বারা প্রতিসৃত হইয়া অক্ষিপটের সামনেই (যেমন C বিন্দুতে) প্রতিবিম্ব গঠন করে [চিত্র নং 5·4(a)]। চোখকে পরিশ্রান্ত করিয়া অর্থাৎ উপযোজন প্রয়োগ করিয়া এই প্রতিবিম্বকে অক্ষিপটে আনা সম্ভব নয়। এই ধরনের ত্রুটিকে স্বল্প দৃষ্টি বলে। সুতরাং সুস্থ চোখ যেখানে বহুদূর অবধি দেখিতে পায়, এই ধরনের ত্রুটিযুক্ত চোখ সেখানে কিছুদূর পর্যন্ত দেখিবে—উহার বেশী দূরের বস্তু ঐ চোখে দৃশ্যমান হইবে না। অথবা, বলা যাইতে পারে এই ধরনের চোখের দূরবিন্দু অসীমে অবস্থিত নয়—চোখ হইতে হয়ত কয়েক গজ দূরে অবস্থিত।

6·4(a) নং চিত্র হইতে বোঝা যায় যে এই ত্রুটি দূর করিতে হইলে চোখের সম্মুখে উপযুক্ত ফোকাসদৈর্ঘ্যের অপসারী বা অবতল লেন্স রাখা প্রয়োজন কারণ রশ্মিগুলি একটু বেশী অভিসারী



(a) চিত্র 6·4 (b)

হইয়া পড়িয়াছে। 6·4(b) নং চিত্রে L ঐ অবতল লেন্স। ত্রুটিযুক্ত চোখের দূরবিন্দু যদি P হয়

তবে ঐ লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য P বিন্দুর দূরত্বের সমান হইলে অসীম হইতে আগত সমান্তরাল রশ্মি L লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া চোখে পৌঁছাইলে মনে হইবে যেন P বিন্দু হইতে আসিতেছে [চিত্র 6·4(b)]। ফলে, বহু দূরের বস্তুর প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে (R) গঠিত হইবে এবং চোখ বিনা শ্রান্তিতে স্বাভাবিক চোখের ন্যায় দূরের বস্তুকে দেখিবে। অতএব, স্বল্প দৃষ্টিজনিত ত্রুটি পরিহার করিবার উপায় অবতল লেন্সের চশমা ব্যবহার করা। লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য ত্রুটিপূর্ণ চোখের দূরবিন্দুর দূরত্বের সমান হওয়া প্রয়োজন।

(iii) **বিষম দৃষ্টি বা অ্যাসটিগম্যাটিজম** (Astigmatism): সুস্থ চোখ দূরে একটি নির্দিষ্ট সমতলে রক্ষিত অনুভূমিক ও উল্লম্ব রেখা দুইটিকেই একসঙ্গে স্পষ্ট দেখিতে পায়। কিন্তু যে-চোখ অ্যাসটিগম্যাটিজম দোষে দুষ্ট তাহা ঐরূপ দুইটি রেখাকেই একসঙ্গে স্পষ্ট দেখিতে পায় না।

একটি কার্ডে কোন বিন্দু হইতে কতকগুলি ব্যাসার্ধ রেখা (radial lines) টানিয়া কোন ব্যক্তিকে ঐ কার্ডের প্রতি দৃষ্টিপাত করিতে বলিলে সে যদি কোন দুইটি অভিলম্ব রেখার একটিকে স্পষ্ট দেখিতে পায় এবং অন্যটিকে না পায়, তবে বুঝিতে হইবে যে উহার চোখে বিষমদৃষ্টিজনিত ত্রুটি আছে। অচ্ছোদপটলের কোন এক তলের বক্রতা অন্য তলের তুলনায় বেশী হইলে এই ধরনের ত্রুটি দেখা যায়। দৃষ্টির এই ত্রুটি অপসারণের জন্য চশমা হিসাবে এমন লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে যাহার কোন এক দিকের বক্রতা অভিলম্ব দিকের বক্রতা অপেক্ষা বেশী। এই লেন্সের তল গোলীয় নয় বলিয়া ইহা কাটা (grind) খুব শক্ত।

(iv) **ক্ষীণদৃষ্টি বা চালশে বা প্রেসবাইওপিয়া** (Presbyopia): যত বয়স বাড়িতে থাকে তত চোখের লেন্স শক্ত হইয়া আসে এবং ঐ লেন্স নিয়ন্ত্রণকারী মাংসপেশীও শিথিল হইয়া পড়ে। এই কারণে বয়োবৃদ্ধির সঙ্গে উপযোজনও কমিতে থাকে। তখন আর নিকটবর্তী বস্তু দৃষ্টিগোচর হয় না। কিন্তু দূরের বস্তু হইতে সমান্তরাল রশ্মি চোখের লেন্স কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠন করে। সুতরাং ক্ষীণদৃষ্টি দোষে দুষ্ট চোখ বিনা শ্রান্তিতে দূরের বস্তু দেখিতে পায় কিন্তু কাছের বস্তু ভাল দেখিতে পায় না। প্রায়ই দেখা যায় বৃদ্ধেরা বই বা সংবাদপত্র পাঠ করিবার সময় উহা বেশ দূরে রাখিয়া পড়েন।

যখন উপযোজন সম্পূর্ণরূপে নিঃশেষিত হয় তখন দূরের বস্তু দেখিবার জন্য অবতল লেন্স প্রয়োজন হয়; কিন্তু নিকটবর্তী বস্তুসমূহ স্পষ্ট দেখিবার জন্য ক্ষুদ্র ফোকাস-দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্স প্রয়োজন। একটি গোলাকার ফ্রেমের দুই অর্ধে এই দুই লেন্স আটকানো থাকে। দূরের জিনিষ দেখিবার সময় উপরের অবতল লেন্স দিয়া দেখিতে হয় এবং নিকটবর্তী বস্তু দেখিবার সময় নিম্নের উত্তল লেন্স ব্যবহার করিতে হয়। এই ধরনের লেন্সকে 'বাইফোকাল লেন্স' (bifocal lens) বলা হয়।

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে চশমা প্রস্তুতকারকেরা লেন্সের ক্ষমতা 'ডায়প্টর' এককে (4·12 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) প্রকাশ করেন এবং উত্তল লেন্সের ক্ষমতা ধনাত্মক এবং অবতল লেন্সের ক্ষমতা ঋণাত্মক বলিয়া গণ্য করেন।

Examples (1) একজন দীর্ঘ দৃষ্টিত্রুটিযুক্ত লোকের স্পষ্টদর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব (অর্থাৎ নিকট বিন্দু) 150cm.; সে 25cm দূরের লেখা পাঠ করিতে চায়। সে কি ধরণের চশমা ব্যবহার করিবে? চশমার লেন্সের ক্ষমতা কত?

উ। যেহেতু চোখে দীর্ঘদৃষ্টিত্রুটি সেইহেতু উত্তল লেন্সের চশমা প্রয়োজন। ঐ লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য এইরূপ হইবে যে 25cm দূরের বস্তুর প্রতিবিম্ব 150cm দূরে গঠিত হয়। এক্ষেত্রে, $u=25$cm এবং $v=150$cm

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এস্থলে, $\frac{1}{150}-\frac{1}{25}=\frac{1}{f}$

$$\therefore \quad f=-30\text{cm.}=-\frac{30}{100}=-\frac{3}{10}\text{ metres}$$

ঐ লেন্সের ক্ষমতা $=+\frac{1}{\frac{3}{10}}=+\frac{10}{3}\text{D}=+3{\cdot}3\text{D}$

(2) জনৈক স্বল্পদৃষ্টিত্রুটিযুক্ত লোক চোখ হইতে মাত্র 15cm দূরের অক্ষর পাঠ করিতে পারে। 25cm দূরে অবস্থিত কোন বই পাঠ করিতে হইলে ঐ ব্যক্তি কি চশমা ব্যবহার করিবে? ঐ চশমার ক্ষমতা কি হইবে?

উ। যেহেতু চোখে স্বল্পদৃষ্টিত্রুটি সেইহেতু অবতল লেন্সের চশমা প্রয়োজন। ঐ লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য এইরূপ হইবে যে 25cm. দূরে অবস্থিত বইয়ের প্রতিবিম্ব 15cm. দূরে গঠিত হয়। অর্থাৎ $u=25$cm এবং $v=+15$cm ; $f=?$

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ কাজেই, $\frac{1}{15}-\frac{1}{25}=\frac{1}{f}$

অথবা, $\frac{2}{75}=\frac{1}{f}$ $\quad\therefore\quad f=\frac{75}{2}\text{cm.}=\frac{75}{2\times 100}=\frac{3}{8}\text{ metres}$

অতএব, লেন্সের ক্ষমতা $=-\frac{1}{\frac{3}{8}}=-\frac{8}{3}\text{D}=-2{\cdot}67\text{D.}$

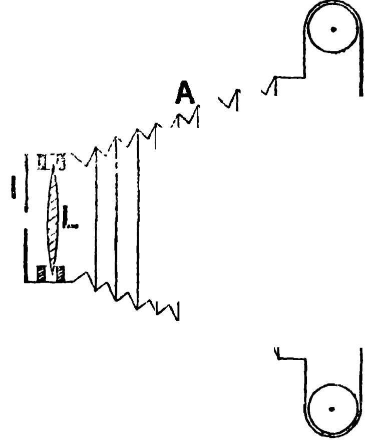
(3) জনৈক দীর্ঘদৃষ্টিত্রুটিযুক্ত লোক বহুদূরের জিনিষ স্পষ্ট দেখিবার জন্য $+1\frac{1}{4}$D ক্ষমতার চশমা ব্যবহার করেন। 50cm. দূরের জিনিষ দেখিবার জন্য তিনি কত ক্ষমতার চশমা ব্যবহার করিবেন?

উ। লেন্সের ক্ষমতা সরাসরি যোগ দেওয়া যায় বলিয়া ঐ ব্যক্তির যে চশমা আছে তাহার সহিত আর একটি লেন্স যুক্ত করিতে হইবে এবং ঐ লেন্সের ফোকাসদৈর্ঘ্য এমন হইবে যে 50cm. দূরের বস্তু হইতে আলোকরশ্মি ঐ লেন্সে দ্বারা প্রতিসৃত হইলে উহারা সমান্তরাল হয়। স্পষ্টত ঐ লেন্সের প্রকৃতি হইবে উত্তল এবং ফোকাস দৈর্ঘ্য হইবে 50cm অথবা ক্ষমতা হইবে $+\frac{1}{\frac{50}{100}}=+2\text{D}$; এই ক্ষমতার সহিত $1\frac{1}{4}$ D যুক্ত করিলে মোট ক্ষমতা হয় $+3\frac{1}{4}$ D ; অতএব ঐ ব্যক্তি $+3\frac{1}{4}$ D ক্ষমতার চশমা ব্যবহার করিবেন।

6·5. **ফটোগ্রাফী ক্যামেরা** (Photographic camera) : লেন্সের কার্যপ্রণালী হইতে আমরা জানি যে কোন উত্তল লেন্সের সম্মুখে উহার ফোকাস দৈর্ঘ্যের দ্বিগুণ অপেক্ষা বেশী দূরত্বে কোন বস্তু রাখিলে, লেন্স ঐ বস্তুর একটি সদ্, খর্ব এবং অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠন করে। লেন্সের এই ক্ষমতাকে ফটোগ্রাফী ক্যামেরায় কার্যকর করা হয়। ক্যামেরার প্রধান অংশগুলির বিবরণ দেওয়া হইল (চিত্র নং 6·5)।

(i) **আলোকনিরুদ্ধ বাক্স** (Light proof chamber) : ইহা কাপড় বা চামড়ার তৈরী (A) এবং অভ্যন্তর কালো রং করা। ভাঁজ নিয়ন্ত্রণ করিয়া এই বাক্সের দৈর্ঘ্য বাড়ানো-কমানো যায়।

(ii) **লেন্স** (Lens) : এই বাক্সের সম্মুখে থাকে ক্যামেরা লেন্স (L)। ইহা একটি উত্তল লেন্স। ভালো এবং দামী ক্যামেরাতে একাধিক লেন্স থাকে এবং উহা সকল প্রকার বিম্বত্রুটি দূর করিয়া নিখুঁত প্রতিবিম্ব গঠন করে।



চিত্র 6·5

(iii) **রন্ধ্র** (Diaphragm) : লেন্সের উন্মেষ হ্রাস-বৃদ্ধির জন্য ইহা একপ্রকার ব্যবস্থা। প্রকৃতপক্ষে বিশেষ কৌশলে নির্মিত কয়েকখানি ধাতব পাত এমনভাবে সন্নিবিষ্ট থাকে যে বাহির হইতে সুবিধামত উহাদের ফাঁক করিয়া রন্ধ্রের আকার ছোট-বড় করা যাইতে পারে। ইহা দ্বারা ক্যামেরায় প্রবিষ্ট আলোকের পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করা যায়। বেশী আলোর প্রয়োজন হইলে রন্ধ্রের পরিসর বৃদ্ধি করা হয় এবং কম আলোর প্রয়োজন হইলে পরিসর ছোট করা হয়।

লেন্সের উন্মেষের ব্যাস সাধারণত উহার ফোকাসদৈর্ঘ্যের ভগ্নাংশরূপে প্রকাশ করা হয়। ইহাকে বলা হয় লেন্সের *f*-সংখ্যা (*f*-number)। যেমন, $f/10$ এই *f*-সংখ্যার লেন্স বলিতে আমরা বুঝি যে, লেন্সের উন্মেষের ব্যাস উহার ফোকাস দৈর্ঘ্যের এক দশমাংশ। ফটো লেন্স দ্বারা কোন সমতলকে ফোকাস করিলে ঐ তলের সম্মুখস্থ যে বিন্দু এবং পশ্চাতবর্তী যে বিন্দু পর্যন্ত সকল জিনিসের মোটামুটি পরিষ্কার প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে সেই পাল্লাকে 'ক্ষেত্রের গভীরতা' (depth of field) বলা হয়। ফটোগ্রাফী ক্যামেরায় ইহা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। কোন নির্দিষ্ট লেন্সের বেলায়, *f*-সংখ্যা যত বেশী হয় 'ক্ষেত্রের গভীরতা' তত বৃদ্ধি পায়।

(iv) **সাটার** (Shutter) : ইহা দ্বারা ক্যামেরায় আলোক-সম্পাতের সময় নিয়ন্ত্রিত করা হয়। আধুনিক ক্যামেরায় এই ব্যবস্থা দ্বারা আলোক-সম্পাতের সময় $\frac{1}{10}$ হইতে $\frac{1}{100}$ সেকেণ্ড পর্যন্ত নিয়ন্ত্রণ করা যায়। এই ধরনের আলোক-সম্পাতকে বলা হয় 'ক্ষণিক উদ্‌ঘাটন' (instantaneous exposure)। অবশ্য, এই সঙ্গে 'ক্ষণকাল উদ্‌ঘাটন' (time-exposure) এরও ব্যবস্থা থাকে।

(v) **পর্দা** (Screen)ঃ লেন্সের বিপরীত দিকে ক্যামেরা বাক্সের একপ্রান্তে একখানি ঘষা কাচ (F) থাকে। ইহাকে পর্দা বলে। আলোকচিত্র তুলিবার পূর্বে এই পর্দার উপর ছবি ঠিক ঠিক পড়িতেছে কিনা দেখিয়া লওয়া হয় এবং সেইমত বাক্সের দৈর্ঘ্য ঠিক করা হয়।

(vi) **প্লেট** (Plate)ঃ ইহা একখানি কাচের প্লেট। ইহার উপর একটি রাসায়নিক অবদ্রব (emulsion) মাখানো থাকে। এই রাসায়নিক পদার্থটি আলোক-সংবেদী (light sensitive)।

(vii) **স্লাইড** (Slide)ঃ ইহা একটি কাঠের চ্যাপ্টা বাক্স। ইহা আলোক নিরুদ্ধ এবং ইহার ভিতর ফটোগ্রাফী প্লেট বসানো থাকে।

ক্যামেরার কার্যপ্রণালীঃ ক্যামেরার সাহায্যে আলোকচিত্র তুলিতে গেলে সর্বপ্রথম ক্যামেরা বাক্সের দৈর্ঘ্য ঠিক করিয়া লইতে হইবে অর্থাৎ লেন্স হইতে পর্দার দূরত্ব এমন করিতে হইবে যে পর্দায় বস্তুর স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়ে। অতঃপর রন্ধ্র নিয়ন্ত্রিত করিয়া অভিপ্রেত আলোকসম্পাত করিতে হইবে। ইহা অনেকটা অভ্যাসের উপর নির্ভর করে। আলোকচিত্র তুলিতে অভ্যস্ত ব্যক্তিরা সহজেই বুঝিতে পারে, অবস্থার উপর নির্ভর করিয়া রন্ধ্র কতখানি ছোট-বড় করিতে হইবে। ইহা করিবার পর প্লেটসহ স্লাইডখানি যথাস্থানে বসাইতে হইবে। প্লেটে একটি 'সিলভার ব্রোমাইড' প্রলেপ থাকে। ইহা আলোকসংবেদী। অতঃপর স্লাইডের সম্মুখের কাঠখানা সরাইয়া লইলে প্লেটের উপর আলো পড়িবে। সাটারের সাহায্যে আলোক প্রক্ষেপের সময় নির্ধারিত করিতে হয়।

অতঃপর প্লেটটিকে অন্ধকার ঘরের ভিতর 'ডেভেলাপ' করিতে হইবে। প্রথমে 'ডেভেলপার' নামক একটি দ্রবণে প্লেটটি ডুবাইলে প্লেটে প্রতিবিম্বটি একটু একটু করিয়া ফুটিতে থাকে। যখন প্রতিবিম্ব বেশ স্পষ্ট হয় তখন পরিষ্কার জল দিয়া প্লেটটি ধুইয়া ফেলিতে হয়। তারপর 'হাইপো' নামক দ্রবণে—ইহা প্রকৃতপক্ষে 'সোডিয়াম হাইপোসালফাইট' দ্রবণ—ডুবাইয়া পরিষ্কার জলে ধুইয়া লইতে হয়। এইরূপে ফটোগ্রাফের 'নেগেটিভ' প্রস্তুত হয়। নেগেটিভ হইতে আসল আলোকচিত্র মুদ্রিত করিতে হয়। ইহাকে বলা হয় 'পজেটিভ'। ইহার জন্য নেগেটিভের সহিত ফটোগ্রাফের কাগজ একসঙ্গে আটকাইয়া আলোকসম্পাত করিতে হয়। পরে, উহাকে পূর্বের মত 'ডেভেলপার' এবং হাইপোর জলে ডুবাইয়া পরিষ্কার জলে ধুইয়া শুকাইয়া লইলে আলোকচিত্র তৈয়ারী হয়।

বলাবাহুল্য, আলোকচিত্র গ্রহণ খুবই কুশলী কাজ। ইহা একবারেই হয় না—অভিজ্ঞতার উপর নির্ভর করে। আজকাল অনেক ক্যামেরাতে প্লেটের পরিবর্তে ফিল্ম ব্যবহার করা হয়।

6·6. **ক্যামেরার সহিত চক্ষুর তুলনা** (Comparison between camera and human eye)ঃ মানুষের চক্ষুর সহিত ক্যামেরার বহু সাদৃশ্য আছে একথা পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে। প্রকৃতপক্ষে মানুষের চক্ষুকে ঈশ্বরের সৃষ্ট ক্যামেরা বলা যাইতে পারে। নিম্নে উহাদের সাদৃশ্য উল্লেখ করা হইল ঃ—

(i) ক্যামেরাতে যেমন একটি আলোকনিরুদ্ধ বাক্স থাকে, চক্ষুতেও অক্ষিগোলক ঐরূপ আলোকনিরুদ্ধ বাক্সের কাজ করে।

(ii) ক্যামেরাতে একটি উত্তল লেন্স আছে যাহা বস্তুর সদ্, অবশীর্ষ এবং খর্ব প্রতিবিম্ব গঠন করে; চক্ষুতেও একটি উত্তল লেন্স আছে যাহা চক্ষু বহির্ভূত বস্তুর সদ্, অবশীর্ষ এবং খর্ব প্রতিবিম্ব গঠন করে।

(iii) ক্যামেরাতে রন্ধ্র লেন্সের উন্মেষকে নিয়ন্ত্রিত করে, চক্ষুতেও কণিনীকা ঐ রন্ধ্রের কাজ করে।

(iv) ক্যামেরাতে সাটার আলোকসম্পাতের সময় নির্ধারণ করে; চক্ষুতে চোখের পাতা ঐ কাজ করে।

(v) ক্যামেরাতে আলোক-সংবেদী প্লেটে প্রতিবিম্ব পড়ে; চক্ষুতে অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

(vi) ক্যামেরাতে লেন্স ও প্লেটের দূরত্ব ভাঁজ করা বাক্স দ্বারা নিয়ন্ত্রিত করিয়া যে কোন দূরত্বে অবস্থিত বস্তুর প্রতিবিম্ব প্লেটে গঠন করা হয়; চক্ষুতে উপযোজন প্রয়োগ করিয়া ঐ কাজ করা হয়।

(vii) ক্যামেরা বাক্সের অভ্যন্তর কালো রং করা থাকে; চোখের অভ্যন্তরে কৃষ্ণমণ্ডল নামে কালো পর্দা আছে।

বীক্ষণ যন্ত্রাবলী (Visual instruments)

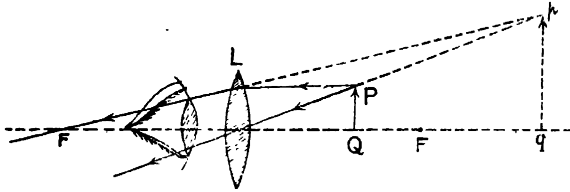
যে সকল যন্ত্র বস্তু দেখিবার ব্যাপারে আমাদের চক্ষুকে সাহায্য করে তাহাদের বীক্ষণ যন্ত্রাবলী বলা হয়। অণুবীক্ষণ, দূরবীক্ষণ, বাইনোকুলার প্রভৃতি যন্ত্রকে বীক্ষণ যন্ত্র বলা হয়। কোন বস্তু চোখে যে-কোণ উৎপন্ন করে, তাহার উপরই বস্তুর আপাত সাইজ (apparent size) নির্ভর করে। ঐ কোণ যত বড় হইবে বস্তুর আপাত সাইজও তত বড় হইবে। রাস্তার পর পর আলোকস্তম্ভগুলির দিকে তাকাইলে, দূরের স্তম্ভগুলি ছোট মনে হয় যদিও প্রকৃতপক্ষে সকল স্তম্ভগুলিই সমান উচু। ইহার কারণ দূরের স্তম্ভগুলি চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাহা অপেক্ষাকৃত ছোট। এই কোণকে বলা হয় **বীক্ষণ কোণ** (visual angle)।

বস্তু চোখে যে বীক্ষণ-কোণ উৎপন্ন করিবে, বস্তুকে (অথবা উহার প্রতিবিম্বকে) চোখের নিকটে আনিয়া ঐ কোণ বৃদ্ধি করা যাইতে পারে কিন্তু বস্তুকে চোখের নিকটে আনিবারও একটি সীমা আছে; কারণ চোখ হইতে বস্তুর দূরত্ব স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম দূরত্বের কম হইলে, বস্তু অস্পষ্ট হইয়া যাইবে। বীক্ষণ যন্ত্রাবলীর মুখ্য উদ্দেশ্য হইতেছে বীক্ষণ-কোণ বৃদ্ধি করিয়া বস্তুর আপাত সাইজ বৃদ্ধি করা এবং বস্তুকে উত্তমরূপে দেখিবার সুবিধা করিয়া দেওয়া। এই কারণে এই যন্ত্রগুলিকে 'বীক্ষণ সহায়ক' (aid to vision) আখ্যা দেওয়া হয়।

6·7. **অণুবীক্ষণ** (Microscopes): খুব ক্ষুদ্র বস্তু—যাহা খালি চোখে ভালো দেখা যায় না—উহাকে বিবর্ধিত করিয়া স্পষ্ট দেখাইবার ব্যবস্থাকে অণুবীক্ষণ বলে। অণুবীক্ষণ দুই প্রকার:—(i) **সরল অণুবীক্ষণ** বা **বিবর্ধক কাচ** বা **পঠন কাচ** (simple microscope or magnifying glass or reading glass) (ii) **যৌগিক অণুবীক্ষণ** (compound microscope)

(i) **সরল অণুবীক্ষণ** (Simple microscope) : ছোট জিনিস—যেমন ছোট ছোট অক্ষর, হরফ ইত্যাদি—যাহা খালি চোখে স্পষ্ট দেখা যায় না, তাহা স্পষ্ট ও বড় করিয়া দেখিবার জন্য সরল অণুবীক্ষণ বা বিবর্ধক কাচ ব্যবহৃত হয়। ইহা আর কিছুই নয়—উপযুক্ত হাতলে আবদ্ধ ক্ষুদ্র ফোকাস-দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্স।

কার্যপ্রণালী : ধর, PQ একটি ক্ষুদ্র বস্তু বিবর্ধক কাচে বড় করিয়া দেখিতে হইবে [চিত্র নং 6·6]। একটি উত্তল লেন্স L এমনভাবে বসানো হইল যে PQ বস্তু লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের ভিতরে অবস্থিত হয়। 6·6 নং চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপ লেন্স বস্তুর অসদ,



চিত্র 6·6

সমশীর্ষ ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব pq গঠন করিবে। লেন্সের অপর পার্শ্বে চোখ রাখিলে PQ বস্তুর পরিবর্তে বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব pq দেখা যাইবে। বস্তু হইতে লেন্সের দূরত্ব যদি এমনভাবে নির্ধারিত হয় যে pq প্রতিবিম্ব চক্ষু হইতে স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম দূরত্বে অবস্থিত হয়, তবে চোখ ঐ বিবর্ধিত প্রতিবিম্বকে বিনা ক্লেশে স্পষ্ট দেখিতে পাইবে।

বিবর্ধন (Magnification) : পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে যে বীক্ষণ যন্ত্রগুলি বীক্ষণ-কোণ বৃদ্ধি করিয়া বস্তুর আপাত সাইজ তথা প্রতিবিম্বের সাইজ বৃদ্ধি করে এবং বস্তু দেখিবার সুবিধা করিয়া দেয়। এইজন্য বীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন পরিমাপ করিতে হইলে বস্তু এবং প্রতিবিম্বের প্রকৃত সাইজ লইলে চলিবে না; অক্ষিপটে বস্তু এবং প্রতিবিম্বের যে সাইজ হইবে তাহা লইতে হইবে। এই সাইজ প্রতিবিম্ব ও বস্তু চোখে যে বীক্ষণ-কোণ উৎপন্ন করে তাহার উপর নির্ভর করে। এই কারণে বীক্ষণ যন্ত্রাবলীর ক্ষেত্রে আমরা বলি,

$$\text{বিবর্ধন} = \frac{\text{প্রতিবিম্ব চোখে যে-কোণ উৎপন্ন করে}}{\text{বিম্বের স্থানে অবস্থিত বস্তু চোখে যে-কোণ উৎপন্ন করে}}$$

[**দ্রষ্টব্য** : উপরোক্ত অনুপাতকে **কৌণিক বিবর্ধন** (angular magnification) বলা হয়।]

সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে প্রতিবিম্ব চোখের নিকট-বিন্দুতে গঠিত হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে বিবর্ধন 'm' নিম্নরূপ লেখা যাইতে পারে :

$$m = \frac{\text{নিকট-বিন্দুতে অবস্থিত প্রতিবিম্ব কর্তৃক উৎপন্ন বীক্ষণ-কোণ}}{\text{,, ,, ,, বস্তু ,, ,, ,, ,,}}$$

যেহেতু চোখ এবং লেন্স খুবই কাছাকাছি, কাজেই,

$$m = \frac{\text{নিকট-বিন্দুতে অবস্থিত প্রতিবিম্ব কর্তৃক লেন্সে উৎপন্ন কোণ}}{\text{,, ,, ,, বস্তু ,, ,, ,, ,,}}$$

$$= \frac{\angle pOq}{\angle P_1Oq} \quad \text{[চিত্র নং 6·7]।}$$

$$= \frac{\tan\angle pOq}{\tan\angle P_1Oq} \quad \text{[যেহেতু কোণদ্বয় খুব ছোট]}$$

$$= \frac{pq}{Oq} \div \frac{P_1q}{Oq} = \frac{pq}{P_1q} = \frac{pq}{PQ} = \frac{D}{u} \quad ..(i)$$

[$D = Oq =$ স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম দূরত্ব বা নিকট-বিন্দুর দূরত্ব]

চিত্র 6·7

এখন, লেন্সের সমীকরণ হইতে আমরা লিখিতে পারি,

$$\frac{1}{D} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f} \quad [f \text{ ঋণাত্মক কারণ লেন্স উত্তল}]$$

D দিয়া গুণ করিলে পাই, $1 - \frac{D}{u} = -\frac{D}{f}$

অথবা, $1 - m = -\frac{D}{f}$ [(i) নং সমীকরণের সাহায্যে]

$$\therefore \quad m = 1 + \frac{D}{f} \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

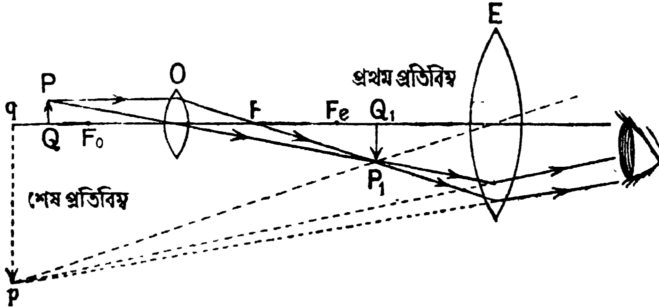
ইহা হইতে বোঝা যায় যে লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 'f' যত ছোট হইবে বিবর্ধন তত বৃদ্ধি পাইবে। সুস্থ এবং স্বাভাবিক চোখের বেলাতে নিকট-বিন্দুর দূরত্ব 25cm. ধরিলে, D=25cm; সেক্ষেত্রে $m = 1 + \frac{25}{f}$

(ii) **যৌগিক অণুবীক্ষণ** (Compound microscope) : লক্ষ্যবস্তু অতি ক্ষুদ্র হইলে সরল অণুবীক্ষণ উহাকে যথেষ্ট বিবর্ধিত করিতে পারে না। উহার জন্য আরো বেশী বিবর্ধক ক্ষমতাযুক্ত যন্ত্র প্রয়োজন। যৌগিক অণুবীক্ষণ সেই কাজ করিতে পারে।

বিবরণ : এই যন্ত্রে দুইখানি উত্তল লেন্স থাকে। একটি ধাতব চোঙের ভিতর একই অক্ষের উপর উহাদের বসানো থাকে। পরীক্ষাধীন বস্তুর নিকট যে লেন্সখানি (O) থাকে তাহাকে বলা হয় **অভিলক্ষ্য** (objective)। ইহার ফোকাস দৈর্ঘ্য এবং উন্মেষ অপেক্ষাকৃত ছোট। অন্য লেন্সটি (E)—যাহার পশ্চাতে চোখ রাখিতে হয়—উহা **অভিনেত্র** (eye-piece) নামে পরিচিত। ইহার ফোকাস-দৈর্ঘ্য এবং উন্মেষ অপেক্ষাকৃত বড়। চোঙের বাহিরে একটি স্ক্রু-র সাহায্যে অভিনেত্রকে অভিলক্ষ্যের দিকে অথবা অভিলক্ষ্য হইতে দূরে সরানো যায়।

কার্যপ্রণালী (Action) : 6·8 নং চিত্রে এই যন্ত্রের কার্যপ্রণালী বুঝানো হইয়াছে। O উত্তল লেন্স হইল অভিলক্ষ্য এবং E-লেন্স অভিনেত্র। PQ একটি অতি ক্ষুদ্র বস্তু। ইহাকে

অভিলক্ষ্যের প্রথম ফোকাসবিন্দু F_0-এর ঠিক বামদিকে রাখা হয়। এই অবস্থায় বস্তু হইতে আলোকরশ্মি অভিলক্ষ্য কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর সদ, অবশীর্ষ এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। P_1Q_1 হইল ঐ প্রতিবিম্ব। P_1Q_1 হইতে আলোকরশ্মি এখন অভিনেত্র কর্তৃক প্রতিসৃত হইবে—অর্থাৎ অভিনেত্র লেন্সের পক্ষে P_1Q_1 হইবে বস্তু। স্ক্রুর সাহায্যে অভিনেত্রকে



চিত্র 6·6

সরাইয়া এমন জায়গায় রাখিতে হইবে যে P_1Q_1 অভিনেত্র-লেন্সের ফোকাস-বিন্দু F_e-এর ডান-দিকে পড়ে। এই অবস্থায় আলোকরশ্মি প্রতিসৃত হইবার পর সমশীর্ষ, অসদ এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব তৈয়ারী করিবে। এই প্রতিবিম্ব হইতেছে pq এবং ইহা দর্শকের চোখের নিকট-বিন্দুতে (near-point) গঠিত হইলে অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখে রাখিয়া দর্শক বিনা ক্লেশে এই বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দেখিতে পাইবে। এখানে উল্লেখযোগ্য যে অভিনেত্রের কার্যপ্রণালী সরল অণুবীক্ষণের কার্যপ্রণালীর অনুরূপ।

বিবর্ধন (Magnification)ঃ এই যন্ত্রে মোট বিবর্ধন দুই দফায় হইতেছে। প্রথমত অভিলক্ষ্য কিছু বিবর্ধন সৃষ্টি করে; দ্বিতীয়ত অভিনেত্র কিছু বিবর্ধন সৃষ্টি করে। উহাদের বিবর্ধনের পরিমাণ যথাক্রমে m_1 এবং m_2 ধরিলে, মোট বিবর্ধন নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করা যায়ঃ

$$m = m_1 \times m_2$$

এখন, $m_1 = \dfrac{v}{u}$ [v=অভিলক্ষ্য হইতে P_1Q_1 প্রতিবিম্বের দূরত্ব
u= ,, ,, PQ বস্তুর দূরত্ব]

পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে যে, অভিনেত্র এক্ষেত্রে সরল অণুবীক্ষণের ন্যায় কার্য করে। তাই উহার বিবর্ধন সরল অণুবীক্ষণের বিবর্ধনের সমান ধরা হইবে [এই অনুচ্ছেদের (ii) নং সমীকরণ]।

অর্থাৎ $$m_2 = 1 + \frac{D}{f_e}$$

[D=স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব এবং f_e=অভিনেত্রের ফোকাস-দৈর্ঘ্য]

কাজেই, $$m = \frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$$

এখন, অভিলক্ষ্য-লেন্সে লেন্সের সাধারণ সমীকরণ প্রয়োগ করিলে লেখা যায়,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f_0}$$ [f_0 অভিলক্ষ্যের ফোকাস-দৈর্ঘ্য]

অথবা, $\frac{v}{u}=\frac{v}{f_0}-1$ অতএব $m=\left(\frac{v}{f_0}-1\right)\left(1+\frac{D}{f_e}\right)$

আবার, 'v' এর তুলনায় f_0 খুব ছোট বলিয়া $\frac{v}{f_0}-1=\frac{v}{f_0}$ ধরা যাইতে পারে।

অতএব, $m=\frac{v}{f_0}\left(1+\frac{D}{f_e}\right)$ .... (iii)

বিবর্ধনের উপরোক্ত রাশিমালা হইতে বোঝা যায় যে 'm'-এর মান বৃদ্ধি করিতে হইলে (i) f_0 ছোট হইতে হইবে—অর্থাৎ অভিলক্ষ্য ক্ষুদ্র ফোকাসদৈর্ঘ্যের লেন্স হইতে হইবে (ii) f_e ছোট হইতে হইবে—অর্থাৎ অভিনেত্র ক্ষুদ্র ফোকাসদৈর্ঘ্যের লেন্স হইতে হইবে এবং (iii) v বড় হইতে হইবে ; অর্থাৎ যন্ত্রের নল যথাসম্ভব দীর্ঘ করিতে হইবে।

তাছাড়া, যৌগিক অণুবীক্ষণে P_1Q_1 প্রতিবিম্ব চোঙের প্রায় অপর প্রান্তে গঠিত হয় বলিয়া $v=L$ ($L=$চোঙের দৈর্ঘ্য) ধরা যাইতে পারে। উপরন্তু D-এর তুলনায় f_e খুব ছোট বলিয়া $1+\frac{D}{f_e}=\frac{D}{f_e}$ (প্রায়) ধরা যাইতে পারে। ইহার ফলে,

$$m=\frac{L}{f_0}\cdot\frac{D}{f_e} \quad .. \quad (iv)$$

এই রাশিমালা হইতেও বোঝা যায় চোঙের দৈর্ঘ্য L বৃদ্ধি করিলে বিবর্ধন বৃদ্ধি পাইবে।

সাধারণত অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য বা অভিনেত্র একটি উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত হয় না। বর্ণাপেরণ, গোলীয় অপেরণ প্রভৃতি বিম্বত্রুটি দূর করিবার জন্য এবং চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা বৃদ্ধি করিবার জন্য, একাধিক লেন্সের সমন্বয়ে অভিলক্ষ্য বা অভিনেত্র তৈয়ারী করা হয়।

Examples : (1) একটি যৌগিক অণুবীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্স 1cm. ফোকাস-দৈর্ঘ্যের এবং অভিনেত্র লেন্স 2·5cm. ফোকাস-দৈর্ঘ্যের। অভিলক্ষ্য হইতে 1·05cm. দূরে অবস্থিত একটি বস্তুর স্পষ্ট প্রতিবিম্ব দেখা গেলে বিবর্ধন কত হইবে? এই অবস্থায় দুই লেন্সের ভিতরকার দূরত্ব কত?

উ। অভিলক্ষ্যের বেলায়, $u=1·05$cm. $f=-1$cm.

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অথবা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{1·05}=-1 \quad \therefore \quad v=-21$cm.

অর্থাৎ প্রতিবিম্ব অভিলক্ষ্য হইতে অপর পার্শ্বে 21cm. দূরে গঠিত হইবে।

অভিনেত্রের বেলায়, $v=25$cm. (নিকট-বিন্দু), $f=-2·5$cm.

আবার, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অথবা $\frac{1}{25}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{2·5} \quad \therefore \quad u=2·27$ cm.

অতএব, দুই লেন্সের ভিতরকার দূরত্ব $=21+2 \cdot 27=\underline{23 \cdot 27 \text{ cm.}}$

আবার, অভিলক্ষ্য কর্তৃক সৃষ্ট বিবর্ধন $m_1=\frac{v}{u}=\frac{21}{1 \cdot 05}$

এবং অভিনেত্র „ „ „ $m_2=1+\frac{D}{f_e}=1+\frac{25}{2 \cdot 5}$

$$\text{মোট বিবর্ধন, } m=\frac{21}{1 \cdot 05}\left(1+\frac{25}{2 \cdot 5}\right)=\underline{220}$$

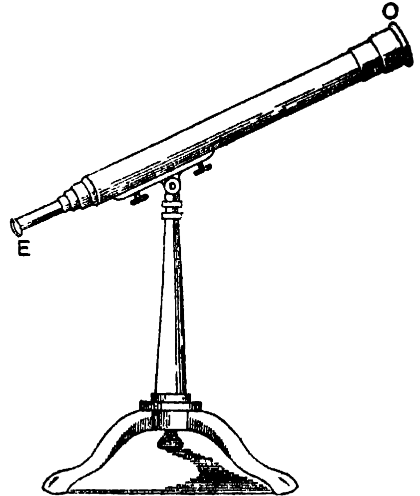
(2) একটি যৌগিক অণুবীক্ষণের অভিলক্ষ্যের ফোকাসদৈর্ঘ্য 0·5cm. এবং অভিনেত্রের ফোকাসদৈর্ঘ্য 2·5 cm.; চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অভিনেত্র হইতে 25cm. দূরে গঠিত হইলে এবং বিবর্ধন 330 হইলে, লেন্স দুইটির কেন্দ্রবিন্দুদ্বয়ের মোটামুটি দূরত্ব কত?

উ। যৌগিক অণুবীক্ষণের ক্ষেত্রে আমরা লিখিতে পারি, $m=\frac{L}{f_0} \frac{D}{f_e}$

এক্ষেত্রে $m=330$; $f_0=0 \cdot 5$ cm; $f_e=2 \cdot 5$cm.; D=25cm.

অতএব, $330=\frac{L}{0 \cdot 5} \times \frac{25}{2 \cdot 5}=20 \times L \quad \therefore \quad L=16 \cdot 5$ cm.

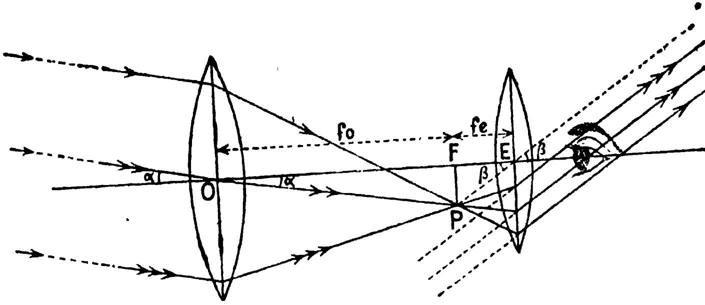
6·8 **নভোবীক্ষণ** (Astronomical telescope): বহু দূরের বস্তু—যেমন গ্রহ, উপগ্রহ, নক্ষত্র ইত্যাদি স্পষ্টভাবে দেখিবার জন্য নভোবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। 6·9 নং চিত্রে এই যন্ত্রের প্রকৃত আকৃতি দেখানো হইয়াছে। এই যন্ত্রে অণুবীক্ষণের ন্যায় দুইটি উত্তল লেন্স থাকে। একটি পিতলের চোঙে একই অক্ষের উপর উহাদের আটকানো থাকে। O-উত্তল লেন্সটি হইল অভিলক্ষ্য—উহাকে বস্তুর দিকে মুখ করিয়া রাখা হয়। ইহার ফোকাসদৈর্ঘ্য ও উন্মেষ অপেক্ষাকৃত বড়। E-লেন্সটি হইল অভিনেত্র—ইহার পশ্চাতে চোখ রাখিয়া প্রতিবিম্ব দেখিতে হয়। ইহার ফোকাস-দৈর্ঘ্য এবং উন্মেষ অপেক্ষাকৃত ছোট। স্ক্রু-র সাহায্যে অভিনেত্রকে সামনে-পিছনে সরাইবার ব্যবস্থা আছে।



চিত্র 6·9

কার্যপ্রণালী (Action): দূরবীক্ষণ বহুদূরবর্তী বস্তুসমূহ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয়। বহু দূরের বস্তু হইতে যে আলোক রশ্মিগুলি যন্ত্রে আসিয়া পৌঁছাইবে তাহাদের

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বলিয়া ধরা যাইতে পারে। উহারা যন্ত্রের সহিত সামান্য আনতভাবে **অভিলক্ষ্য** O-এর উপর আপতিত হয় [চিত্র 6.10(a)]। রশ্মিগুলি অভিলক্ষ্য কর্তৃক



চিত্র 6·10(a)

প্রতিসৃত হইয়া ঐ লেন্সের ফোকাসতলে সদ্, অবশীর্ষ এবং খর্ব প্রতিবিম্ব গঠন করে। FP হইল ঐ প্রতিবিম্ব।

এখন, FP প্রতিবিম্ব অভিনেত্র-লেন্স E-এর পক্ষে বস্তু বলিয়া গণ্য হইবে। অভিনেত্রকে FP হইতে যদি এমন দূরত্বে রাখা হয় যে ঐ দূরত্ব অভিনেত্র-লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের সমান, তবে FP হইতে রশ্মিগুচ্ছ অভিনেত্র দ্বারা প্রতিসৃত হইবার পর সমান্তরালভাবে নির্গত হইবে। স্ক্রুর সাহায্যে অভিনেত্র-লেন্সকে যথাযথ স্থানে বসাইবার প্রক্রিয়াকে **ফোকাসিং** (focussing) বলে। উপরোক্তভাবে অভিনেত্র-লেন্সকে ফোকাসিং করিলে এবং অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখিলে মনে হইবে ঐ রশ্মিগুলি অসীম হইতে আসিতেছে। অতএব, একটি অবশীর্ষ, এবং বহুগুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হইবে। দূরবীক্ষণের এই ফোকাসিং-কে বলা হয় **অসীম দূরত্ব ফোকাসিং** (focussing for infinity)। কিন্তু এইরূপ ফোকাসিং-এর ফলে প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হয় বলিয়া চোখে দেখিবার সুবিধা হয় না।

চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব দর্শকের চোখের নিকট-বিন্দুতে গঠিত হইলে চোখ ঐ প্রতিবিম্ব বিনা ক্লেশে দেখিতে পাইবে। এইজন্য অভিনেত্রকে অভিলক্ষ্যের দিকে আরো একটু সরাইয়া দেওয়া হয় যাহাতে অভিলক্ষ্য কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব P_1Q অভিনেত্র-লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের ভিতর পড়িয়া যায় [(Fig. 6·10(b)]। তখন অভিনেত্র সরল অণুবীক্ষণের ন্যায় কাজ করিয়া উহার একটি বিবর্ধিত, অসদ ও সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব *pq* স্পষ্টদর্শনের নিম্নতম দূরত্বে গঠন করিবে। অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখিয়া ঐ চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দেখা যাইবে। এই ধরনের ফোকাসিং-কে বলা হয় দূরবীক্ষণের **স্পষ্ট দর্শন ফোকাসিং** (focussing for distinct vision)।

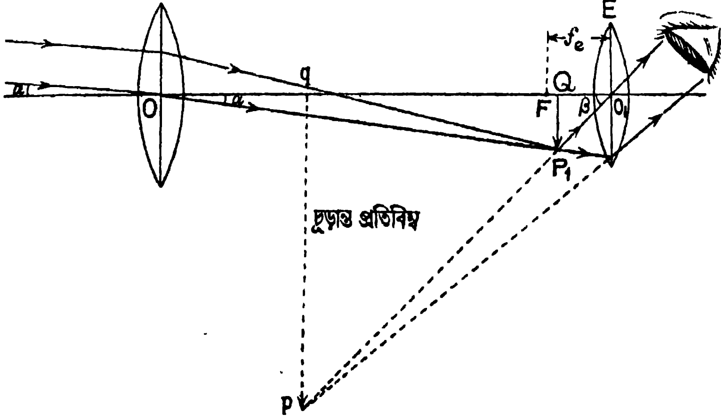
বিবর্ধন (Magnification) : যে কোন বীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বলিতে কৌণিক বিবর্ধন বুঝায় তাহা পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে। সুতরাং অসীমদূরত্ব ফোকাসিং-এর বেলায়

[চিত্র 6.10(a)] $m = \dfrac{\text{প্রতিবিম্ব চোখে যে কোণ } (\beta) \text{ উৎপন্ন করে}}{\text{বস্তু চোখে যে কোণ } (\alpha) \text{ উৎপন্ন করে}}$

যেহেতু বস্তু বহুদূরে অবস্থিত সেইহেতু বস্তু চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে এবং অভিলক্ষ্যে যে কোণ উৎপন্ন করে উভয়েই সমান।

$$\text{কাজেই,}\quad m=\frac{\angle \mathrm{FEP}}{\angle \mathrm{FOP}}=\frac{\tan\angle \mathrm{FEP}}{\tan\angle \mathrm{FOP}}=\frac{\mathrm{FP}}{\mathrm{EF}}\div\frac{\mathrm{FP}}{\mathrm{OF}}=\frac{\mathrm{OF}}{\mathrm{EF}}=\frac{f_0}{f_e} \qquad \text{(i)}$$

[f_0=অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য এবং f_e=অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্য]



চিত্র 6·10(b)

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে বড় ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিলক্ষ্য এবং অপেক্ষাকৃত ছোট ফোকাস দৈর্ঘ্যের অভিনেত্র লইলে, যন্ত্রের বিবর্ধন খুব বৃদ্ধি পাইবে।

স্পষ্টদর্শন ফোকাসিং-এর বেলায় [চিত্র নং 6.10(b)]

$$m=\frac{\beta}{\alpha}=\frac{\tan\beta}{\tan\alpha}=\frac{\mathrm{P_1Q}}{\mathrm{O_1Q}}\div\frac{\mathrm{P_1Q}}{\mathrm{OQ}}=\frac{\mathrm{P_1Q}}{\mathrm{O_1Q}}\times\frac{f_0}{\mathrm{P_1Q}}=\frac{f_0}{\mathrm{O_1Q}}$$

এখন, অভিনেত্র লেন্সের বেলায় $\mathrm{P_1Q}$ হইল বস্তু এবং pq উহার প্রতিবিম্ব এবং ইহা দর্শকের চোখের নিকট-বিন্দুতে (=D) গঠিত হইয়াছে। অতএব, $\frac{1}{\mathrm{O_1}q}-\frac{1}{\mathrm{O_1Q}}=-\frac{1}{f_e}$

অথবা, $\frac{1}{\mathrm{O_1Q}}=\frac{1}{f_0}+\frac{1}{\mathrm{O_1}q}=\frac{1}{f_e}+\frac{1}{\mathrm{D}}$ [কারণ $\mathrm{O_1}q=\mathrm{D}$)

$$\therefore\quad m=f_0\left(\frac{1}{f_e}+\frac{1}{\mathrm{D}}\right)=\frac{f_0}{f_e}\left(1+\frac{f_e}{\mathrm{D}}\right)\quad .. \qquad \text{(ii)}$$

অসীম দূরত্ব ফোকাসিং-এর বেলায় $\mathrm{O_1}q=\infty$; কারণ চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হয়। অতএব, (ii) নং সমীকরণ হইতে পাই, $m=\frac{f_0}{f_e}$; লক্ষ্য করিবার বিষয় যে ইহাই (i) নং সমীকরণ।

দূরবীক্ষণ নলের দৈর্ঘ্য (Tube length of the telescope) ঃ দূরবীক্ষণ নলের দৈর্ঘ্য বলিতে অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ভিতরকার দূরত্ব বুঝায়। অভিলক্ষ্যের পশ্চাতে v দূরত্বে যদি অভিলক্ষ্য সদবিম্ব গঠন করে এবং অভিনেত্র হইতে এই বিম্বের দূরত্ব u হইলে, নলের দৈর্ঘ্য

$$L=v+u.$$

অসীম দূরত্ব ফোকাসিং-এর বেলায় [চিত্র 6·10(a)] আমরা দেখিয়াছি, $v=f_0$ এবং $u=f_e$ $\quad\therefore\quad L=f_0+f_e \quad ..\quad$ (iii)

অর্থাৎ অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র লেন্সদ্বয়ের ফোকাস দৈর্ঘ্যের সমষ্টি হইবে দূরবীক্ষণ নলের দৈর্ঘ্য। **স্পষ্ট দর্শন ফোকাসিং**-এর বেলায় [চিত্র 6.10(b)], $v=f_0$ কিন্তু u নিম্নলিখিত সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় ঃ $\frac{1}{D}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{f_e}$ অথবা, $\frac{1}{u}=\frac{1}{D}+\frac{1}{f_e}$

অথবা, $u=\frac{D.f_e}{D+f_e}$ $\quad\therefore\quad L=f_0+u=f_0+\frac{D.f_e}{D+f_e} \quad ..\quad$ (iv)

Example : একটি নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্যের ফোকাসদৈর্ঘ্য 180 cm এবং অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্য 3cm., অসীম দূরত্ব ফোকাসিং-এর বেলায় (i) যন্ত্রের বিবর্ধন (ii) নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

উ। অসীম দূরত্ব ফোকাসিং-এর বেলায়,

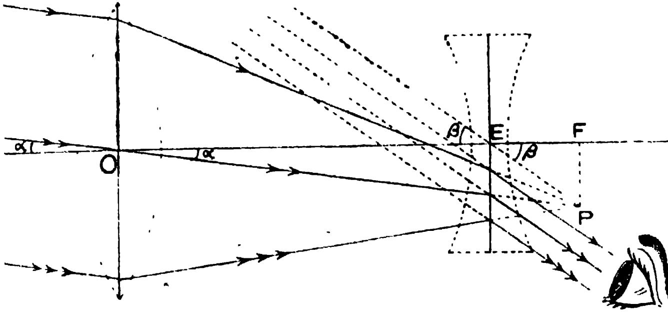
$$\text{বিবর্ধন}=\frac{f_0}{f_e}=\frac{180}{3}=60 \quad \text{[(i) নং সমীকরণ]}$$

এবং নলের দৈর্ঘ্য $=f_0+f_e=180+3=183$cm [(iii) নং সমীকরণ]

6·9 **গ্যালিলিওর দূরবীক্ষণ** (Galilean telescope) ঃ নভোবীক্ষণে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অবশীর্ষ হয়। সেইজন্য পৃথিবীর উপরকার কোন বস্তু দেখিবার পক্ষে উহা সুবিধাজনক নহে। ইহার জন্য গ্যালিলিওর দূরবীক্ষণ ব্যবহার করা হয়। ইহা সর্বাপেক্ষা পুরাতন দূরবীক্ষণ। গ্যালিলিও ইহার উদ্ভাবন করেন। ইহার অভিলক্ষ্য লেন্সটি নভোবীক্ষণের মত উত্তল কিন্তু অভিনেত্রটি অবতল লেন্স। লেন্স দুইটি সমাক্ষীয়ভাবে আটকানো এবং অভিনেত্রকে সামনে-পিছনে সরাইবার ব্যবস্থা আছে।

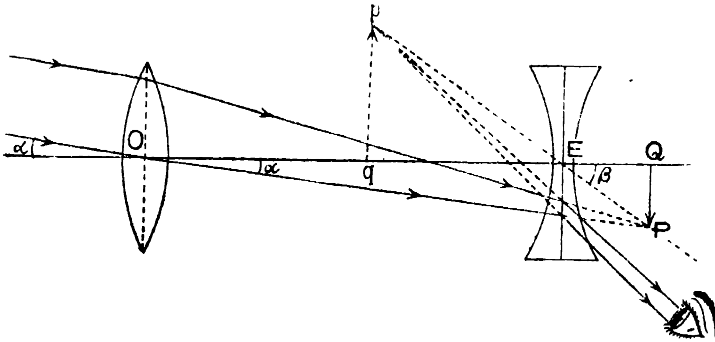
কার্যপ্রণালী ঃ বহু দূরের বস্তু হইতে সমান্তরাল রশ্মি যন্ত্রের অক্ষের সহিত সামান্য আনতভাবে O-অভিলক্ষ্যের উপর আপতিত হয় [চিত্র নং 6·11(a)]। প্রতিসৃত রশ্মিগুলি ঐ লেন্সের ফোকাসতলে একটি সদবিম্ব FP তৈয়ারী করিবার চেষ্টা করে, কিন্তু অভিনেত্র E কর্তৃক বাধা পায়। এক্ষেত্রে FP প্রতিবিম্বকে অভিনেত্রের পক্ষে অসদ বস্তু বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে। এখন, অভিনেত্রকে সরাইয়া যদি এমনভাবে রাখা হয় যে FP হইতে উহার দূরত্ব উহার ফোকাস-দৈর্ঘ্যের সমান, তবে অভিলক্ষ্য হইতে আগত রশ্মিগুলি অভিনেত্র কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর সমান্তরাল রশ্মিরূপে নির্গত হইবে এবং অসীমে বিবর্ধিত ও সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। বলা বাহুল্য, ইহা হইবে দূরবীক্ষণের **অসীম দূরত্ব ফোকাসিং**।

স্পষ্ট দর্শন ফোকাসিং-এর জন্য অভিনেত্র লেন্সকে অভিলক্ষ্যের দিকে আরো খানিকটা সরাইয়া দিতে হইবে যাহাতে অসদ বস্তু PQ অভিনেত্র-লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের কিছু



চিত্র 6·11(a)

বেশী দূরত্বে গঠিত হয়। এক্ষেত্রে অভিনেত্র অসদ, বিবর্ধিত এবং সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব *pq* স্পষ্ট-দর্শনের নিম্নতম দূরত্বে গঠন করিবে। অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখিয়া ঐ প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দেখা যাইবে [চিত্র 6.11(b)]।



চিত্র 6·11(b)

বিবর্ধন : পূর্বের মত এক্ষেত্রেও, $m = \dfrac{\text{প্রতিবিম্ব চোখে যে কোণ } (\beta) \text{ উৎপন্ন করে}}{\text{বস্তু ,, কোণ } (\alpha)}$

অসীম দূরত্ব ফোকাসিং-এর বেলায় [চিত্র নং 6·11(a)],

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\angle PEF}{\angle POF} = \frac{\tan\angle PEF}{\tan\angle POF} = \frac{OF}{EF} = \frac{f_0}{f_e}$$

এক্ষেত্রে নলের দৈর্ঘ্য $L = OF - EF = f_0 - f_e$

স্পষ্ট দর্শন ফোকাসিং-এর বেলায় [চিত্র নং 6·11(b)]

$$m=\frac{\beta}{\alpha}=\frac{QP}{EQ}\cdot\frac{QP}{OQ}=\frac{OQ}{EQ}=\frac{f_0}{EQ}$$

এখন, অভিনেত্র লেন্সের কথা বিবেচনা করিলে, QP হইবে অসদ বস্তু এবং pq উহার সদ প্রতিবিম্ব ;

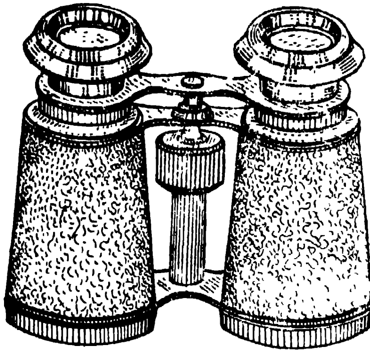
অতএব, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এই সমীকরণ প্রয়োগ করিয়া পাই,

$$\frac{1}{Eq}-\frac{1}{-EQ}=\frac{1}{f_e} \quad \text{অথবা,} \quad \frac{1}{D}+\frac{1}{EQ}=\frac{1}{f_e} \ [\text{কারণ } Eq=D]$$

$$\frac{1}{EQ}=\frac{1}{f_e}-\frac{1}{D}. \quad \text{কাজেই,} \quad m=f_0\left(\frac{1}{f_e}-\frac{1}{D}\right)=\frac{f_0}{f_e}\left(1-\frac{f_e}{D}\right)$$

এক্ষেত্রে নলের দৈর্ঘ্য $L=OQ-EQ==f_0-\frac{f_e.D}{D-f_e}$

6·10 **বাইনোকুলারস** (Binoculars) : 6·12 নং চিত্রে একটি বাইনোকুলারের আকৃতি দেখানো হইল। সাধারণ ক্ষেত্রে দুইটি গ্যালিলিওর দূরবীক্ষণের সমন্বয়ে ইহা তৈরী হয়। দূরবীক্ষণ দুইটিকে একত্রে একটি ফ্রেমে এমনভাবে আবদ্ধ করা হয় যে উহাদের অক্ষদ্বয় পরস্পরের সমান্তরাল থাকে এবং দর্শকের দুই চোখে ঠিকমত লাগিতে পারে। ফ্রেমের সহিত একটি স্ক্রু থাকে। উহা ঘুরাইয়া দূরের কোন বস্তুর প্রতি বাইনোকুলার ফোকাস করা হয়। দুইটি দূরবীক্ষণ থাকার ফলে বস্তুর ত্রিমাত্রিক (solidity) সম্বন্ধে ধারণা স্পষ্ট হয়।



চিত্র 6·12

সাধারণ বাইনোকুলারের বিবর্ধন ক্ষমতা খুব বেশী নয়। সামরিক কাজকর্ম বা শিকার প্রভৃতি কার্যে বেশী ক্ষমতাশালী বাইনোকুলার প্রয়োজন। ঐরূপ বাইনোকুলারকে প্রিজম বাইনোকুলার বলে। এই বাইনোকুলারে অভিলক্ষ্য হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ একটি সমশীর্ষকারী প্রিজম (erecting prism) -এর উপর আপতিত হয় এবং প্রিজম কর্তৃক পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া নলের প্রায় পূর্ণ দৈর্ঘ্য অতিক্রম করিয়া দ্বিতীয় সমশীর্ষকারী প্রিজমে আপতিত হয় এবং পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া অভিনেত্র লেন্সে প্রবেশ করে। এস্থলে আলোকরশ্মি নলের দৈর্ঘ্য তিনবার অতিক্রম করে বলিয়া দীর্ঘ ফোকাস-দৈর্ঘ্যের অভিলক্ষ্য ব্যবহার করা যাইতে পারে। ইহাতে মোট যে বিবর্ধন পাওয়া যাইবে তাহা প্রিজমবিহীন সমদৈর্ঘ্যের যন্ত্রের বিবর্ধনের তুলনায় অনেক বেশী।

Exercises

1. মানুষের চক্ষু সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত নোট লেখ। চক্ষুর উপযোজন বলিতে কি বুঝায়? দীর্ঘদৃষ্টি ও স্বল্পদৃষ্টিজনিত-ত্রুটি কিরূপে দূর করা যায় তাহা বুঝাইয়া দাও।

2. মানুষের চোখের প্রধান দুইটি ত্রুটি কি কি? চশমার সাহায্যে উহার কিরূপে প্রতিকার করা যায় ব্যাখ্যা কর।

3. একজন স্বল্পদৃষ্টিসম্পন্ন লোক চোখ হইতে 15cm. দূরে অবস্থিত হরফ দেখিতে পায়। 60cm. দূরে অবস্থিত কোন পুস্তক বিনা ক্লেশে পাঠ করিতে হইলে ঐ ব্যক্তি কত ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্স ব্যবহার করিবে? [Ans. অবতল লেন্স, 20cm.]

4. জনৈক লোকের চোখের নিকট-বিন্দু চোখ হইতে 200cm. দূরে অবস্থিত; 20cm. দূরের বস্তু দেখিতে হইলে সে কি চশমা ব্যবহার করিবে?

[Ans. উত্তল; ফোকাস দৈর্ঘ্য=22·2cm.]

5. জনৈক দীর্ঘদৃষ্টিসম্পন্ন লোকের চোখের নিকটবিন্দু 100cm. দূরে এবং দূর-বিন্দু স্বাভাবিক। সে কি চশমা ব্যবহার করিলে তাহার নিকট-বিন্দু স্বাভাবিক হইবে? ঐ অবস্থায় তাহার দূর-বিন্দু কি হইবে? [Ans. উত্তল; $f=33\frac{1}{3}$ cm.]

6. দীর্ঘদৃষ্টিসম্পন্ন কোন বালক দূরের জিনিস দেখিবার জন্য +1·75 ক্ষমতার চশমা ব্যবহার করে। চোখ হইতে 40cm. দূরের বই পড়িবার জন্য তাহার কত ক্ষমতার চশমার প্রয়োজন হইবে? [Ans. +4.25 D]

7. ফটোগ্রাফী ক্যামেরার বিভিন্ন অংশের বিবরণ দাও। ফটোগ্রাফী ক্যামেরার সহিত মানুষের চোখের তুলনা কর।

8. একটি উত্তল লেন্সের সাহায্যে কিরূপে সরল অণুবীক্ষণ গঠন করা যায়? ঐ যন্ত্রের বিবর্ধন বলিতে কি বোঝ?

9. একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র বর্ণনা কর। উহা কিরূপে বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে তাহা চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। ঐ যন্ত্রের বিবর্ধনের একটি রাশিমালা নির্ধারণ কর।

10. 1cm. এবং 6cm. ফোকাস দৈর্ঘ্যের দুইটি উত্তল লেন্স দিয়া একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ গঠন করা হইল। অভিলক্ষ্য হইতে 1·2cm. দূরে একটি ক্ষুদ্র বস্তু রাখিয়া অভিনেত্র হইতে 25cm. দূরে উহার একটি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব তৈয়ারী হইল। অভিলক্ষ্য হইতে অভিনেত্র পর্যন্ত নলের দৈর্ঘ্য কত? [Ans. 10·84 cm.]

11. প্রমাণ কর যে যৌগিক অণুবীক্ষণে বিবর্ধন নলের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক।

12. একটি নভোবীক্ষণ যন্ত্র বর্ণনা কর। সুন্দর চিত্র অঙ্কন করিয়া দেখাও কিরূপে (i) অভিলক্ষ্য এবং (ii) অভিনেত্র বহু দূরবর্তী বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করে।

13. গ্যালিলিওর দূরবীক্ষণ কাহাকে বলে? একটি নক্সার সাহায্যে ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

14. একটি বাইনোকুলার-এর বর্ণনা কর। ইহা কি কাজে লাগে?

15. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলি সংক্ষিপ্ত উত্তর দাও ঃ—

(ক) 5cm. এবং 30cm. ফোকাস দৈর্ঘ্যের দুইখানি উত্তল লেন্সকে কিভাবে সাজাইবে যাহাতে একটি নভোবীক্ষণ গঠিত হয়?

(খ) একটি নক্ষত্রের স্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে, ঐ নভোবীক্ষণের লেন্সদ্বয়ের অন্তর্বর্তী দূরত্ব কত হইবে?

(গ) অভিলক্ষ্যের ব্যাস অভিনেত্রের ব্যাস অপেক্ষা বড় রাখা হয় কেন?

(ঘ) একটি অস্বচ্ছ কাগজ দ্বারা অভিলক্ষ্য লেন্সের অর্ধেক ঢাকিয়া দিলে প্রতিবিম্বের কি পরিবর্তন হইবে?

(ঙ) নভোবীক্ষণের কোন্ লেন্স সদবিম্ব এবং কোন্ লেন্স অসদ-বিম্ব গঠন করে ?

(চ) দর্শক যে প্রতিবিম্ব দেখে তাহা অবশীর্ষ হয় কেন?

16. গ্যালিলিও দূরবীক্ষণের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। উহার বিবর্ধনের একটি রাশিমালা নির্ণয় কর। ইহার সহিত নভোবীক্ষণের পার্থক্য উল্লেখ কর। কি ধরণের কাজে এই দূরবীক্ষণ ব্যবহার করা হয়?

17. 1 ft এবং 2 inches ফোকাস দৈর্ঘ্যের দুইখানি উত্তল লেন্স দিয়া একটি সরল নভোবীক্ষণ তৈরী করা হইল। সুস্থ চোখ ঐ দূরবীক্ষণ দিয়া চাঁদ দেখিলে, লেন্স দুইটির দূরত্ব কত হইবে? [Ans. $13\frac{2}{3}$ inches]

18. বাইনোকুলারের সহিত নভোবীক্ষণের পার্থক্য কি?

চৌম্বক বিজ্ঞান

[MAGNETISM]

পূর্বানুবৃত্তি
(Recapitulation)

1·1. **প্রাকৃতিক চুম্বক ও চুম্বকত্ব** (Natural magnets and magnetism) : বহু প্রাচীনকাল হইতেই লৌহ ও অক্সিজেন দ্বারা তৈয়ারী একপ্রকার খনিজ পদার্থের কথা লোকের জানা ছিল যাহা লৌহখণ্ডকে আকর্ষণ করিতে পারিত। এই পদার্থের নাম ম্যাগনেটাইট। এই পদার্থটি এশিয়া মাইনরের ম্যাগনেশিয়া অঞ্চলে প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায়। মনে হয়, এই কারণে উক্ত পদার্থটির নাম হইয়াছে ম্যাগনেটাইট। **লৌহকে অকর্ষণ করিবার ক্ষমতা থাকার দরুন ম্যাগনেটাইটকে চুম্বক বলা হয়।**

খনিজ দ্রব্য বলিয়া উক্ত পদার্থকে বলা হয় **প্রাকৃতিক চুম্বক**। যে ধর্মের জন্য উহা অন্য একটি লোহার টুক্‌রাকে আকর্ষণ করে সেই ধর্মকে বলা হয় **চুম্বকত্ব** (magnetism)। লৌহকে আকর্ষণ করা ছাড়া প্রাকৃতিক চুম্বকের আর একটি ধর্ম আছে। তাহাকে বলা যাইতে পারে **দিক্ নির্দেশক ধর্ম** (directive property); অর্থাৎ, একটি প্রাকৃতিক চুম্বককে যদি মুক্ত অবস্থায় (freely) ঝুলানো যায়, তবে দেখা যায়, উহা উত্তর-দক্ষিণ দিকে মুখ করিয়া আছে। নাড়াইয়া দিলে কিছুক্ষণ আন্দোলনের পর যখন স্থির হইবে, তখন দেখা যাইবে, উহা পূর্বের মত উত্তর-দক্ষিণমুখী হইয়াছে। এই কারণে চুম্বককে পথ প্রদর্শক প্রস্তর বা লোডস্টোন বলা হয়। সুতরাং মুক্ত অবস্থায় ঝুলানো প্রাকৃতিক চুম্বক দিক্ নির্দেশের জন্য ব্যবহার করা যাইতে পারে (চিত্র নং 1·1)। প্রকৃতপক্ষে বহুপূর্বে সমুদ্রে নাবিকেরা দিক্‌ভ্রান্ত হইলে এই উপায়ে দিক্ নির্দেশ করিত। কথিত আছে, চীনদেশে সর্বপ্রথম এই পদ্ধতিতে দিক্ নির্দেশ করা হইত। সুতরাং, **প্রাকৃতিক চুম্বকের দুইটি ধর্ম** :- (1) **আকর্ষণী ধর্ম** ও (2) **দিক-নির্দেশক ধর্ম**।




চিত্র 1·1

চুম্বকত্ব পদার্থের একটি ভৌত ধর্ম (physical property), রাসায়নিক ধর্ম (chemical property) নয়—অর্থাৎ, চুম্বকত্ব আরোপিত হইলে কোন বস্তুর আকার, রং, ওজন, ভর ইত্যাদির কোন পরিবর্তন হয় না বা বস্তুর ভারকেন্দ্রেরও কোন পরিবর্তন হয় না।

1·2. **চুম্বক, চৌম্বক (Magnetic) ও অচৌম্বক** (Non-magnetic) **পদার্থের ভিতর পার্থক্য** : (1) যে পদার্থের লোহা, ইস্পাত প্রভৃতি ধাতুকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা আছে এবং মুক্ত অবস্থায় ঝুলাইয়া দিলে একটি নির্দিষ্ট দিকে মুখ করিয়া থাকে তাহাকে চুম্বক বলা হয়।

যে সমস্ত পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত হয় তাহাদের চৌম্বক পদার্থ বলে। যেমন—লোহা, ইস্পাত, নিকেল, কোবাল্ট প্রভৃতি।

যে সমস্ত পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত বা বিকর্ষিত হয় না, অর্থাৎ, চুম্বক দ্বারা প্রভাবিত হয় না তাহাদের অচৌম্বক পদার্থ বলা হয়। যেমন—কাচ, কাগজ, কাঠ ইত্যাদি।

(2) চুম্বকের দুইটি নির্দিষ্ট মেরু আছে এবং মুক্ত ভাবে ঝুলাইলে সর্বদা একটি মেরু উত্তর-মুখী ও অন্যটি দক্ষিণ-মুখী হয়।

চৌম্বক বা অচৌম্বক পদার্থের কোন মেরু থাকে না এবং মুক্ত অবস্থায় ঝুলাইলে ইহা যে-কোন দিকে মুখ করিয়া থাকিতে পারে।

(3) চুম্বক দ্বারা চৌম্বক পদার্থকে কয়েকটি সহজ প্রণালীতে চুম্বকে পরিণত করা যায় কিন্তু অচৌম্বক পদার্থকে তাহা করা যায় না।

(4) চুম্বকের কোন নির্দিষ্ট মেরু অপর একটি চুম্বকের সমমেরুকে বিকর্ষণ করে ও বিষম মেরুকে আকর্ষণ করে কিন্তু চৌম্বক পদার্থ দ্বিতীয় চুম্বকের উভয় মেরু দ্বারাই আকর্ষিত হয়।

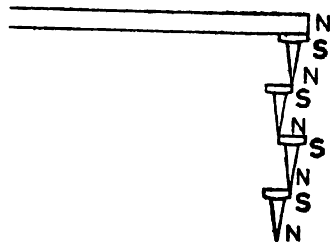
1·3. **স্থায়ী ও অস্থায়ী চুম্বক** (Permanent and temporary magnets) ঃ **সংজ্ঞা ঃ যে পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করিলে উহা বহুদিন ধরিয়া চুম্বকত্ব বজায় রাখিতে পারে তাহাকে স্থায়ী চুম্বক বলা হয়।** যেমন, ইস্পাত বা টাংস্টেন স্টীলকে (টাংস্টেন ও স্টীলের সংকর ধাতু) চুম্বকত্ব প্রদান করিলে স্থায়ী মেরুর উৎপত্তি হয়।

সংজ্ঞা ঃ যে পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করিলে উহা বেশীদিন চুম্বকত্ব বজায় রাখিতে পারে না তাহাকে অস্থায়ী চুম্বক বলে। যেমন, কাঁচা লোহার দণ্ডকে বেশ শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত করা যায় কিন্তু বেশী দিন তাহার চুম্বকত্ব স্থায়ী হয় না।

স্থায়ী চুম্বকের কথা বলিলে স্বভাবতই আমাদের লোহা ও ইস্পাতের কথা মনে পড়ে। কিন্তু আজকাল দেখা গিয়াছে যে কতকগুলি সংকর ধাতু স্থায়ী চুম্বকের কাজ ভালভাবেই করিতে পারে। লোহা, অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল ও কোবাল্ট মিশ্রিত (12% অ্যালুমিনিয়াম, 20% নিকেল, 5% কোবাল্ট এবং বাকী লোহা) সংকর ধাতু Alnico খুব ভাল চৌম্বক পদার্থ এবং ইহাকে স্থায়ী চুম্বক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। ইহা ছাড়া লৌহ ও সিলিকন মিশ্রিত (5% সিলিকন, 95% লৌহ) সংকর ধাতু Stalloy,, লৌহ ও নিকেল মিশ্রিত (50% লৌহ এবং 50% নিকেল) Parmalloy, লৌহ, নিকেল ও তামা মিশ্রিত (22% লৌহ, 73% নিকেল এবং 5% তামা) Mumental প্রভৃতিও ভাল স্থায়ী চুম্বক।

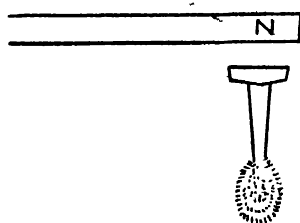
1·4 **চৌম্বক আবেশ** (Magnetic induction) ঃ আমরা জানি ঘর্ষণ ও তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা কোন চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করা যায়। ইহা ছাড়াও আর এক প্রকার সহজ উপায়ে চুম্বক তৈরী করা যায়। দেখা গিয়াছে, একটি শক্তিশালী চুম্বকের সহিত যদি কোন চৌম্বক পদার্থ স্পর্শ করানো যায় অথবা খুব কাছে আনা যায় তবে উক্ত চৌম্বক পদার্থ সাময়িকভাবে চুম্বকে পরিণত হয়। এই ঘটনাকে চৌম্বক আবেশ বলে। নিম্নে বর্ণিত সহজ পরীক্ষা দ্বারা চৌম্বক আবেশ খুব সুন্দরভাবে বোঝা যাইবে।

পরীক্ষা ঃ (ক) একটি দণ্ড-চুম্বকের যে-কোন মেরু, ধর, N-মেরুর নীচে একটি কাঁচা লোহার পেরেক স্পর্শ করাইলে পেরেকটি চুম্বকীয় আকর্ষণের ফলে ঝুলিতে থাকিবে। এখন আর একটি পেরেক প্রথম পেরেকের তলায় স্পর্শ করাইলে দেখা যাইবে, দ্বিতীয় পেরেকটিও প্রথম পেরেকটির গায়ে লাগিয়া ঝুলিতেছে (1·2 নং চিত্র)। এইভাবে কয়েকটি পেরেক পর পর রাখিয়া একটি শৃঙ্খল তৈরী করা যাইবে। ইহা প্রমাণ করে, প্রত্যেকটি পেরেক চুম্বকে পরিণত হইয়াছে। এখন খুব সাবধানে দণ্ড-চুম্বকটি উপর হইতে সরাইয়া লও। দেখিবে, পেরেকগুলি সব খসিয়া পড়িল। ইহা হইতে বোঝা যায়, পেরেকগুলির চুম্বকত্ব সাময়িক। যতক্ষণ পর্যন্ত দণ্ড-চুম্বকের সহিত যোগাযোগ থাকে ততক্ষণ পর্যন্ত পেরেকগুলি চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে।



চিত্র 1·2

(খ) একটি কাঁচা লোহার পেরেক লৌহ-চূর্ণের মধ্যে ডুবাইয়া তুলিয়া আনিলে পেরেকের গায়ে চূর্ণ লাগিয়া থাকে না। কিন্তু পেরেকটির কিছু উপরে (1·3 নং চিত্র) একটি দণ্ড-চুম্বক রাখিলে দেখা যাইবে, কিছু চূর্ণ আটকাইয়া আছে। দণ্ড-চুম্বকটি সরাইয়া লইলে চূর্ণগুলি আবার পড়িয়া যাইবে। এই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ হয়, পেরেকটি দণ্ড-চুম্বকের খুব কাছে থাকায় দণ্ড-চুম্বকের প্রভাবে উহা সাময়িকভাবে চুম্বকে পরিণত হইয়াছে।



চিত্র 1·3

সংজ্ঞা ঃ কোন শক্তিশালী চুম্বকের প্রভাবে চৌম্বক পদার্থে সাময়িক চুম্বকত্ব সৃষ্টি হয়। এই ধরনের চুম্বকত্বকে **আবিষ্ট চুম্বকত্ব** (induced magnetism) বলে এবং এই ঘটনাকে বলা হয় **চৌম্বক আবেশ।**

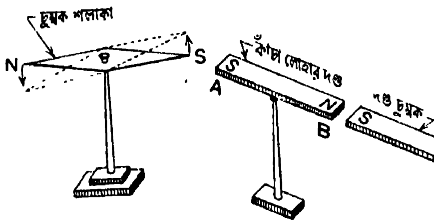
এখন, দণ্ড-চুম্বক ও পেরেকের অন্তর্বর্তী স্থানে কাচ, কাঠ বা কাগজ ঢুকাইয়া দাও। দেখিবে, পেরেকে চূর্ণগুলি আটকাইয়া আছে—খসিয়া পড়ে নাই। ইহা প্রমাণ করে, **কাচ, কাঠ প্রভৃতি অচৌম্বক পদার্থ চুম্বক আবেশকে বাধা দিতে পারে না।**

1·5 **আবিষ্ট চুম্বকত্বে মেরুর প্রকৃতি** (Nature of polarity in induced magnetism) **ঃ** আমরা দেখিলাম, আবেশের দ্বারা কোন লৌহখণ্ডকে চুম্বকে পরিণত করা যায় কিন্তু ঐ আবিষ্ট চুম্বকের কোন্ প্রান্তে কি ধরনের মেরু থাকিবে তাহা পূর্বের পরীক্ষায় জানা যায় না। নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষা দ্বারা আবিষ্ট চুম্বকে মেরুর প্রকৃতি বোঝা যাইবে।

পরীক্ষা ঃ একটি চুম্বক-শলাকা লও এবং উহার অক্ষের সহিত লম্বভাবে ও উহার যে-কোন প্রান্তের মধ্য দিয়া যাইতেছে এমন একটি রেখা বরাবর একটি দণ্ড-চুম্বক রাখ। চুম্বক-শলাকা ও

দণ্ড-চুম্বকের ভিতরের দূরত্ব এমন কর যাহাতে দণ্ড-চুম্বকের প্রভাবে শলাকার কোন বিক্ষেপ (deflection) না হয়।

মনে কর, দণ্ড-চুম্বক ও চুম্বক-শলাকার S-মেরুদ্বয় পরস্পরের মুখোমুখি (1.4 নং চিত্র)। এখন দণ্ড-চুম্বক ও চুম্বক-শলাকার S-মেরুর মধ্যে একটি কাঁচালোহার দণ্ড AB রাখ। দেখিবে সঙ্গে সঙ্গে চুম্বক-শলাকার S-মেরু বিকর্ষিত হইয়া দূরে সরিয়া গেল। ইহা প্রমাণ করে, আবেশের দরুন কাঁচালোহার দণ্ডের A প্রান্তে S-মেরুর উদ্ভব হইয়াছে। কারণ, আমরা জানি সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। সুতরাং দণ্ডের B-প্রান্তে বিপরীত মেরু বা N-মেরু উৎপন্ন হইয়াছে। অর্থাৎ, দণ্ড-চুম্বকের আবেশকারী (inducing) S-মেরু কাঁচা-লোহার দণ্ডের নিকটতম B-প্রান্তে নিজের বিপরীত মেরু বা, N-মেরু এবং দূরতম A-প্রান্তে সম-মেরু বা S-মেরু সৃষ্টি করিয়াছে। যদি দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু AB দণ্ডের B-প্রান্তের কাছে রাখা যায় তবে A-প্রান্তে N-মেরু ও B-প্রান্তে S-মেরু আবিষ্ট হইবে।



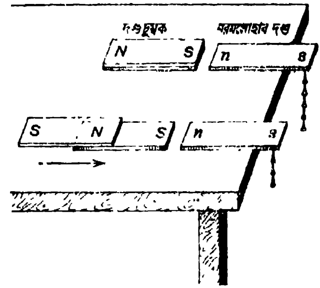
চিত্র 1·4

ইহা হইতে সাধারণ নিয়ম হিসাবে বলা যায়, **দণ্ডের যে-প্রান্ত আবেশকারী মেরুর নিকটতম তথায় বিপরীত মেরু ও যে-প্রান্ত দূরতম তথায় সম-মেরু উৎপন্ন হয়।**

এই পরীক্ষায় যদি দণ্ড-চুম্বক ও কাঁচা-লোহার দণ্ডকে চুম্বক-শলাকার অক্ষ বরাবর রাখা হয় তাহা হইলে চুম্বকশলাকার কোন বিক্ষেপ হইবে না, কারণ, সেক্ষেত্রে চুম্বকশলাকার দুই মেরুর উপর বিপরীতমুখী বল একই সরল রেখায় ক্রিয়া করিবে। সেজন্য উহাদের চুম্বকশলাকার অক্ষের সহিত লম্বভাবে ও চুম্বকশলাকার যে-কোন প্রান্তের কাছাকাছি রাখা উচিত।

1·6 **আকর্ষণের পূর্বে আবেশ** (Induction precedes attraction): আমরা জানি কোন দণ্ড-চুম্বকের যে-কোন মেরু অপর একটি চৌম্বক পদার্থের নিকটে আনিলে চুম্বক ঐ পদার্থটিকে নিজের দিকে আকর্ষণ করিয়া লয়। এই আকর্ষণ বিনা কারণে হয় না—ইহার মূলে আছে চৌম্বক আবেশ। যখন একটি চুম্বকমেরুকে চৌম্বক পদার্থের নিকট আনা হইবে তখনই চৌম্বক আবেশের ফলে পদার্থটির নিকটতম প্রান্তে ঐ মেরুর বিপরীত মেরু এবং দূরতম প্রান্তে ঐ মেরুর সমমেরু আবিষ্ট হইবে। অর্থাৎ, পদার্থটি ক্ষণস্থায়ী চুম্বকে পরিণত হইবে। এখন আবেশী মেরু (inducing pole) ও নিকটতম আবিষ্ট মেরু (induced pole) বিপরীত বলিয়া পরস্পরের প্রতি আকর্ষণ বল প্রয়োগ করিবে। অবশ্য আবেশী মেরু ও সম-প্রকৃতির দূরতম আবিষ্ট মেরুর ভিতর বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করিবে বটে, কিন্তু ইহাদের ভিতরকার দূরত্ব বেশী বলিয়া বিকর্ষণ বল অপেক্ষাকৃত কম হইবে। ফলে চুম্বক ঐ পদার্থটিকে নিজের দিকে আকর্ষণ করিবে। এই কারণে বলা হয়, আকর্ষণের পূর্বে আবেশ সংঘটিত হয়।

1·7 আবেশী মেরুর শক্তির উপর আবেশের পরিমাণ নির্ভর করে (Amount of induction depends upon the strength of the inducing pole) :
একটি নরম লোহার দণ্ড লইয়া টেবিলের কিনারে এমনভাবে রাখ যাহাতে দণ্ডের খানিকটা অংশ টেবিলের বাহিরে থাকে। এখন দুইটি একই ধরনের দণ্ড-চুম্বক লইয়া একটি আর একটির উপর রাখ যাহাতে উভয়েরই সমধর্মী মেরু একদিকে থাকে। এই সম্মিলিত দণ্ড-চুম্বকদ্বয় আবেশের সৃষ্টি করিবে এবং নরম লোহার দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হইবে। নরম লোহার দণ্ডের অপর প্রান্তে কয়েকটি লোহার পেরেক পর পর ঝুলাইলে শৃঙ্খলের মত ঝুলিতে থাকিবে [1·5 নং চিত্রের উপরের অংশ]। দণ্ডের আবিষ্ট মেরুর প্রভাবে যে-কয়টি পেরেক ঝুলিতে পারে তাহা ঝুলাও। এখন দণ্ড-চুম্বকের একটিকে আস্তে আস্তে দূরে সরাইয়া লইয়া যাও। দেখিবে কিছু-সংখ্যক পেরেক শৃঙ্খল হইতে খসিয়া পড়িল। ইহা প্রমাণ করে, আবেশী চুম্বকের মেরুশক্তি কমাইলে আবিষ্ট মেরুশক্তিও কমিয়া যায়। এইবার যে দণ্ড-চুম্বককে দূরে সরাইয়া লওয়া হইয়াছে তাহাকে উল্টাইয়া প্রথম দণ্ড-চুম্বকের উপর স্থাপন কর এবং আস্তে আস্তে উভয়ের বিপরীত মেরুদ্বয়কে কাছাকাছি আন [1·5 নং চিত্রের নীচের অংশ]। দেখিবে শৃঙ্খলের অবশিষ্ট পেরেক হইতে একটি একটি করিয়া পেরেক খসিয়া পড়িতেছে। যখন দণ্ড-চুম্বকদ্বয় একটি আর একটির ঠিক উপরে আসিবে তখন নরম লোহার দণ্ডে কোন পেরেকই আটকাইয়া থাকিবে না। বিপরীত মেরুদ্বয় কাছাকাছি আসার অর্থ এই যে আবেশী মেরুর শক্তি ক্রমশ লোপ পাওয়া এবং সঙ্গে সঙ্গে দেখা যায় আবিষ্ট মেরুর শক্তিও ক্রমশ লোপ পায়।



চিত্র 1·5

ইহা নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করে, আবেশের পরিমাণ আবেশী মেরুর শক্তির উপর নির্ভরশীল। আবেশী মেরুর শক্তি বৃদ্ধি পাইলে বা হ্রাস পাইলে আবেশের পরিমাণও যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

1·8 আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ (Amount of induced magnetism):
আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে :—

(1) আবেশী মেরুর শক্তি; আবেশী মেরুর শক্তি যত বেশী হইবে আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণও তত বেশী হইবে।

(2) আবেশাধীন পদার্থের প্রকৃতি; যেমন, অনুরূপ পরিস্থিতিতে নরম লোহায় আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ একই ধরনের ইস্পাত অপেক্ষা বেশী হইবে। কোবাল্ট অথবা নিকেলে ইহার পরিমাণ আরো কম।

(3) আবেশাধীন বস্তু ও আবেশী মেরুর ভিতরকার দূরত্ব; দূরত্ব যত কম হইবে আবেশের পরিমাণ তত বৃদ্ধি পাইবে।

(4) আবেশাধীন বস্তু ও আবেশী মেরুর ভিতরকার মাধ্যম; দেখা গিয়াছে কোন কোন মাধ্যমে আবেশ-ক্রিয়া বেশী হয়, আবার কোন কোন মাধ্যমে কম হয়।

1·9 আবেশের ফলে মেরুর পরিবর্তন (Change of polarity due to induction) **:** মনে কর, একটি শক্তিশালী দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু দ্রুত একটি চুম্বক-শলাকার (অথবা কোন দুর্বল চুম্বকের) N-মেরুর খুব কাছে আনা হইল। দুইটি সম-মেরুর ভিতর পারস্পরিক ক্রিয়ার নিয়মানুযায়ী উহাদের ভিতর বিকর্ষণ হওয়া উচিত। কিন্তু দেখা যাইবে, বিকর্ষণের পরিবর্তে উহাদের ভিতর আকর্ষণ ক্রিয়া করিল। ইহার কারণ আবেশের ফলে চুম্বক-শলাকার অথবা দুর্বল চুম্বকের মেরুর পরিবর্তন। দণ্ড-চুম্বক খুব শক্তিশালী বলিয়া উহা দুর্বল চুম্বকের N-মেরুর উপর (আবেশের নিয়মানুযায়ী) S-মেরু আবিষ্ট করিবে এবং এই আবিষ্ট S-মেরু দুর্বল চুম্বকের N-মেরু অপেক্ষা অধিকতর শক্তিশালী বলিয়া দুর্বল চুম্বকের নিজস্ব N-মেরুর শক্তি সম্পূর্ণ নষ্ট হইয়া যাইবে ও ঐ স্থলে S-মেরুর উদ্ভব হইবে। দুর্বল চুম্বকের অপর প্রান্তেও অনুরূপ ঘটনা ঘটিবে। অর্থাৎ দুর্বল চুম্বকের দুই মেরু পরিবর্তিত হইয়া যাইবে।

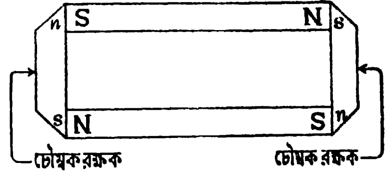
সাধারণত শক্তিশালী চুম্বক সরাইয়া লইলে দুর্বল চুম্বক পুনরায় নিজস্ব মেরু ফিরিয়া পায়। কিন্তু কোন কোন ক্ষেত্রে মেরুর এই পরিবর্তন স্থায়ী হইতে পারে। এই কারণে চুম্বকশলাকার সাহায্যে কোন চুম্বকের মেরু পরীক্ষার সময় চুম্বককে দ্রুত চুম্বকশলাকার কাছে আনিতে নাই। উহাদের সর্বদা দূর হইতে আস্তে আস্তে কাছে আনিতে হয়।

1·10 চুম্বকত্ব বিনাশের বা হ্রাসের কারণ (Factors responsible for destruction or weakening of magnetism) **:** নিম্নলিখিত কারণের জন্য কোন চুম্বকের চুম্বকত্ব বিনষ্ট হয় বা হ্রাস পায় :

(i) যদি দুইটি দণ্ড-চুম্বককে এমনভাবে রাখা যায় যে উহাদের সম-মেরু পাশাপাশি থাকে তবে আবেশের ফলে প্রত্যেক মেরু অপরের উপর বিপরীত মেরু উৎপন্ন করিবে। ফলে উভয়ের চুম্বকত্ব হ্রাস পাইবে। (ii) ভূ-চুম্বকের আবেশের দ্বারা চুম্বকত্ব বিনষ্ট হয় বা হ্রাস পায়। যেমন, উত্তর গোলার্ধে কোন চুম্বকের S-মেরু যদি নীচের দিকে রাখিয়া খাড়াভাবে ঝুলাইয়া রাখা হয় তবে পৃথিবীর চুম্বকত্ব উহার উপর বিপরীত মেরু আবিষ্ট করিবে এবং উহার চুম্বকত্ব হ্রাস পাইবে। (iii) কোন চুম্বককে আঘাত করিলে, মোচড়াইলে বা বারংবার উপর হইতে নীচে ফেলিয়া দিলে উহার চুম্বকত্ব বিনষ্ট হয়। ইস্পাত অপেক্ষা নরম লোহার চুম্বকত্ব এই সকল কারণে বেশী ক্ষতিগ্রস্ত হয়। (iv) চুম্বককে উত্তপ্ত করিলে উহার চুম্বকত্ব হ্রাস পায়। নির্দিষ্ট তাপমাত্রা অপেক্ষা বেশী উত্তপ্ত করিলে উহার চুম্বকত্ব সম্পূর্ণ অন্তর্হিত হয়। অবশ্য বিভিন্ন চৌম্বক পদার্থের এই নির্দিষ্ট তাপমাত্রা বিভিন্ন। এই তাপমাত্রাকে বলা হয় **কুরী-বিন্দু** (Curie-point)। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, লোহার কুরী-বিন্দু 350°C এবং নিকেলের প্রায় 750°C ; কুরী-বিন্দুর নিম্নতাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে চুম্বকত্ব আংশিকভাবে হ্রাস পায়, কিন্তু ঠাণ্ডা করিয়া পূর্ব তাপমাত্রায় আনিলে চুম্বকত্ব সম্পূর্ণরূপে উজ্জীবিত হয়। (v) পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের (alternating current) সাহায্যেও চুম্বকের চৌম্বকশক্তি বিনষ্ট করা যায়। হাতঘড়ির হেয়ার স্প্রীং ইস্পাতের তৈরী। ঘড়িকে চুম্বকের নিকট আনিলে হেয়ার স্প্রীং চুম্বকিত হয় এবং সঠিক সময়

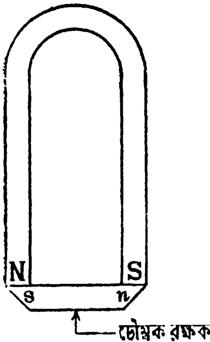
রাখিতে পারে না। এখন, একটি কুণ্ডলীতে পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ চালাইয়া কুণ্ডলীর সম্মুখে কিছুক্ষণ ঘড়ি রাখিয়া আস্তে আস্তে ঘড়ি সরাইয়া লইলে হেয়ার-স্প্রীং বিচুম্বকিত হইবে এবং সঠিক সময় রাখিতে পারিবে।

1·10 **চৌম্বক রক্ষক** (Magnetic keepeıs) ঃ একটি দণ্ড-চুম্বকের দুই মেরু পরস্পরের উপর বিপরীত মেরু আবিষ্ট করিবার জন্য সর্বদা চেষ্টা করে। ফলে প্রত্যেক মেরুর শক্তি ক্রমশ হ্রাস পায়। এজন্য দেখা যায়, কোন দণ্ড-চুম্বককে বহুদিন কোন কাজে না লাগাইয়া রাখিয়া দিলে উহার চৌম্বকশক্তি অনেক পরিমাণে হ্রাস পাইয়া গিয়াছে। তেমনি, একটি অশ্ব-খুর চুম্বককেও রাখিয়া দিলে পারস্পরিক ক্রিয়ায় মেরুশক্তি ক্রমশ হ্রাস পাইবে। এই ঘটনাকে **আত্ম-বিচুম্বকন** (self-demagnetisation) বলে। চুম্বকের চুম্বকত্ব রক্ষার জন্য যে-ব্যবস্থা করা হয় তাহাকে **চৌম্বক-রক্ষক** বলে। ইহা আর কিছুই নয়, একটি নরম লোহার ছোট পাতলা পাত।



চিত্র 1·6

দণ্ড-চুম্বকের বেলাতে দুইটি দণ্ড-চুম্বককে এমনভাবে পাশাপাশি রাখা হয় যে উহাদের বিপরীত মেরু মুখোমুখি থাকে। অতঃপর নরম লোহার ছোট পাত দ্বারা উহাদের যুক্ত করা হয় (1·6 নং চিত্র)। ইহার ফলে দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু রক্ষকের নিকটতম প্রান্তে S-মেরু আবিষ্ট করিবে এবং উহাদের পারস্পরিক আকর্ষণ দণ্ড-চুম্বকের N-মেরুকে রক্ষা করিবে। এইরূপ আবেশের ফলে সমগ্র মেরুগুলি একটি বদ্ধমুখ শৃঙ্খলের (closed chain) ন্যায় ব্যবহার করিবে ও চুম্বকের শক্তি বজায় রাখিবে।



চিত্র 1·7

অশ্বখুর চুম্বকের বেলাতেও এরূপ একটি ছোট নরম লোহার পাত কর্তৃক চুম্বকের দুই মেরুকে সংযুক্ত করা হয় (1·7 নং চিত্র)। ইহাতে কোথাও কোন স্বাধীন মেরুর (free pole) অস্তিত্ব থাকে না, আবিষ্ট মেরু ও চুম্বকের মেরু মিলিয়া একটি বদ্ধমুখ শৃঙ্খলের সৃষ্টি করে।

Exercises

1. চৌম্বক ধর্ম সাপেক্ষে এক টুকরা নরম লোহা, এক টুকরা পিতল ও এক টুকরা লোড-স্টোনের ভিতর পার্থক্য কি?

2. স্থায়ী ও অস্থায়ী চুম্বক কাহাকে বলে? উহাদের পার্থক্য কি? স্থায়ী এবং অস্থায়ী চুম্বক তৈয়ারী করিবার উপযুক্ত উপাদান কি?

3. আবিষ্ট চুম্বকত্ব কাহাকে বলে? উপযুক্ত পরীক্ষা সহ ব্যাখ্যা কর।

4. চৌম্বক আবেশ দ্বারা সৃষ্ট মেরুর প্রকৃতি কি? খাড়াভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের কোন মেরু হইতে একটির নীচে আর একটি করিয়া কতকগুলি নরম লোহার টুক্‌রা ঝুলান যাইতে পারে। কিন্তু চুম্বক সরাইয়া লইবার সঙ্গে সঙ্গে টুকরাগুলি পড়িয়া যায় কেন?

5. চুম্বক কর্তৃক আবিষ্ট মেরুর প্রকৃতি নির্ণয়ের একটি সহজ পরীক্ষা বর্ণনা কর। স্থায়ী চুম্বক কর্তৃক নরম লোহা আকর্ষণের ঘটনাকে কিভাবে ব্যাখ্যা করিবে?

[*H.S. Exam. 1962*]

6. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে আবিষ্ট চৌম্বক শক্তি কিরূপভাবে নির্ভর করিবে? (*a*) আবেশী মেরুশক্তির উপর, (*b*) আবিষ্ট ও আবেশী মেরুদ্বয়ের দূরত্বের উপর। [*H. S. Exam. 1963*]

7. (i) আবেশের পরিমাণ কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে? (ii) কোন চুম্বকশলাকার উত্তর মেরু অপর একটি শক্তিশালী চুম্বকের উত্তর মেরু কর্তৃক আকৃষ্ট হইতে পারে। ইহা কি ভাবে সম্ভব হয়? (iii) ইস্পাত ও লোহার খাড়া স্তম্ভ ক্ষীণ চুম্বকত্ব লাভ করিতে দেখা যায় কেন? উত্তর গোলার্ধে ঐরূপ স্তম্ভে কি ধরনের মেরু উৎপন্ন হইবে?

8. বিচুম্বকন কাহাকে বলে? কি কি পদ্ধতিতে ইহা ঘটিতে পারে? কুরীবিন্দু কাহাকে বলে?

9. একটি শক্তিশালী চুম্বক A-এর উত্তর মেরুকে বাধাহীনভাবে ঝুলন্ত অপর একটি দুর্বল চুম্বক B-এর উত্তর মেরুর দিকে অগ্রসর করানো হইল। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে B-চুম্বকের উত্তর মেরু কিরূপ ব্যবহার করিবে ঃ—(i) যখন চুম্বক-A চুম্বক-B হইতে বেশ কিছু দূরে, (ii) যখন চুম্বক-A চুম্বক-B এর খুব কাছে। [*H. S. (Comp) 1960, '67*]

10. চৌম্বক রক্ষক কাহাকে বলে? একটি অশ্বখুর চুম্বকের দুই মেরুর মাঝখানে একটি নরম লোহার টুক্‌রা রাখিলে দেখা যায় যে উহা লোহার টুক্‌রা না রাখা অবস্থার তুলনায় চুম্বকত্ব ভাল সংরক্ষণ করিতে পারে। ইহার কারণ কি? [*cf H. S. Exam. 1963, '67*]

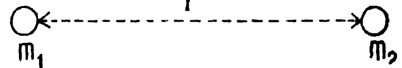
চৌম্বক ক্ষেত্র ও চৌম্বক বলরেখা

(Magnetic field and magnetic lines of force)

2·1. **চৌম্বক ক্ষেত্র :** চুম্বক লোহাকে আকর্ষণ করে, ইহা আমরা জানি। লোহাকে চুম্বক হইতে খানিকটা দূরে রাখিলেও এই আকর্ষণ দেখিতে পাওয়া যায়। এমন কি কাষ্ঠ, কাচ বা কাগজ দিয়া লোহাকে ঘিরিয়া রাখিলেও চুম্বকীয় আকর্ষণ বাধা পায় না। সুতরাং বলা যাইতে পারে চুম্বকের আকর্ষণ বা বিকর্ষণজনিত প্রভাব চুম্বকের চতুর্দিকে বিস্তৃত থাকে।

সংজ্ঞা : চুম্বকের চতুর্দিকে যতদূর পর্যন্ত উহার প্রভাব বিস্তৃত হয় সেই স্থানকে ঐ চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্র বলা হয়। গাণিতিক নিয়মানুযায়ী এই ক্ষেত্র অসীম (infinity) পর্যন্ত বিস্তৃত। কিন্তু কার্যত দেখা যায়, নির্দিষ্ট দূরত্ব পর্যন্ত কোন চুম্বক তাহার প্রভাব বিস্তার করে; তাহার পর উহার আর কোন প্রভাব দৃষ্ট হয় না।

2·2. **দুইটি চুম্বক-মেরুর পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল : কুলম্বের নিয়ম** (Force of attraction or repulsion between two magnetic poles : Coulomb's law) : মনে কর, দুইটি মেরু পরস্পর হইতে 'r' দূরে অবস্থিত। উহাদের মেরুশক্তি (pole strength) যথাক্রমে m_1 এবং m_2 (2·1 নং চিত্র)। উহারা সমমেরু হইলে পরস্পরকে বিকর্ষণ করিবে এবং বিষম মেরু হইলে আকর্ষণ করিবে। এই আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল কত? ইহা কুলম্বের নিয়ম হইতে জানা যায়। কুলম্বের নিয়মানুযায়ী **দুইটি চৌম্বক মেরুর ভিতর আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল উহাদের মেরুশক্তির গুণফলের সমানুপাতিক এবং উহাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।**



চিত্র 2·1

যদি আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল F ধরা যায়, তবে কুলম্বের নিয়ম হইতে আমরা বলিতে পারি,

$F \propto m_1 m_2$ যখন r ধ্রুবক এবং $F \propto \frac{1}{r^2}$ যখন m_1 এবং m_2 ধ্রুবক, অর্থাৎ

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ অথবা } F = \frac{1}{k} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad [k = \text{ধ্রুবক}]।$$

ধ্রুবক 'k' মেরু দুইটির ভিতরকার মাধ্যমের উপর নির্ভর করে। ইহাকে মাধ্যমের 'ভেদ্যতা' (permeability) বলে। সাধারণভাবে অচৌম্বক পদার্থ এবং বায়ুর ক্ষেত্রে এই ধ্রুবকের মান ধরা হয় 1.

2·3. **একক শক্তির মেরু** (Pole of unit strength) ঃ উপরোক্ত সমীকরণ হইতে আমরা একক শক্তির মেরুর সংজ্ঞা পাইতে পারি। যখন $F=1$ ডাইন, $k=1$ (বায়ু মাধ্যমে); $r=1$ সে.মি. এবং $m_1=m_2$ তখন, $m_1=m_2=1$

সংজ্ঞা ঃ যদি দুইটি একই শক্তির মেরু বায়ুমধ্যে 1 সে.মি. দূরে অবস্থিত থাকিয়া পরস্পরের প্রতি 1 ডাইন বল প্রয়োগ করে, তবে উহাদের যে-কোন মেরুর শক্তিকে একক শক্তির মেরু বলা হইবে।

একক শক্তির মেরুর উপরোক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী বায়ুতে অবস্থিত m_1 এবং m_2 শক্তিসম্পন্ন দুইটি মেরু পরস্পরের প্রতি যে বলপ্রয়োগ করিবে তাহা $F=\frac{m_1m_2}{r^2}$

কোন মেরুর শক্তি সি জি এস একক অনুযায়ী 50 বলিলে বুঝিতে হইবে, ঐ মেরু হইতে 1 সে.মি. দূরে বায়ুতে একটি একক শক্তির মেরু রাখিলে ঐ একক শক্তির মেরু 50 ডাইন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল অনুভব করিবে।

2·4. **চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য** (Intensity of magnetic field) ঃ

সংজ্ঞা ঃ চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে একক শক্তির বিচ্ছিন্ন একটি N-মেরু রাখিলে ঐ মেরু যে-বল অনুভব করিবে ঐ বলই হইবে উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রে ঐ বিন্দুর প্রাবল্য।

তাহা হইলে 'm' মেরুশক্তি-বিশিষ্ট কোন চুম্বক-মেরু হইতে বায়ুতে 'r' দূরে প্রাবল্য কত হইবে? 'r' দূরে এককশক্তির N-মেরু রাখিলে উহা যে-বল অনুভব করিবে তাহা 2·3 অনুচ্ছেদের সমীকরণ হইতে আমরা জানি,

$$F=\frac{m\times 1}{r^2}=\frac{m}{r^2}$$ অর্থাৎ, $\frac{m}{r^2}$ হইবে ঐ বিন্দুতে প্রাবল্য।

ইহা সহজে বোঝা যায় যে, অসম চৌম্বক-ক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে প্রাবল্য বিভিন্ন।

চৌম্বক ক্ষেত্রের বর্তমান এককের নাম 'ওরস্টেড' (Oersted)। পূর্বে এই এককের নাম ছিল 'গস্' (Gauss)। তাই কোন কোন পুস্তকে প্রাবল্যকে 'গস্' এককে প্রকাশ করিতে দেখা যায়। বলা বাহুল্য, প্রাবল্য একটি ভেক্‌টর রাশি। তাই অনেক সময় ইহাকে **চৌম্বক ক্ষেত্র ভেক্‌টর** (Magnetic field vector) বলা হয়।

চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সংজ্ঞা হইতে বলিতে পারা যায়, 'H' প্রাবল্যের কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে 'm' মেরুশক্তি বিশিষ্ট কোন চৌম্বক মেরু রাখিলে উহা যে বল 'f' অনুভব করিবে তাহা হইবে $f=mH$.

Examples ঃ (1) বায়ুমধ্যে পরস্পর হইতে 12 সে.মি. দূরে রাখা দুইটি চৌম্বক মেরু —যাহাদের শক্তি যথাক্রমে 32 এবং 36—কত বল প্রয়োগ করিবে?

উ। এক্ষেত্রে $m_1=32$; $m_2=36$ এবং $r=12$ সে. মি.

আমরা জানি, $F=\frac{m_1m_2}{r^2}$ কাজেই $F=\frac{32\times 36}{(12)^2}=8$ ডাইন।

(2) একটি মেরু অপর একটি অপেক্ষা পাঁচগুণ শক্তিশালী। উহাদের 10 সে. মি. পারস্পরিক দূরত্বে রাখিলে, উহারা একে আর একের উপর 80 মিলিগ্রাম ওজনের বল প্রয়োগ করে। প্রত্যেকটি মেরুর শক্তি নির্ণয় কর।

উ। এক্ষেত্রে $F=80$ মিলিগ্রাম ভার$=\frac{80}{1000}$ গ্র্যামভার।

$$=\frac{80}{1000}\times 980 \text{ ডাইন}=\frac{98\times 8}{10} \text{ ডাইন}$$

তাছাড়া, $m_1=5m_2$ এবং $r=10$ সে. মি. ; আমরা জানি, $F=\frac{m_1m_2}{r^2}$

অতএব, $\frac{98\times 8}{10}=\frac{5m_2\times m_2}{10\times 10}$ অথবা, $m_2{}^2=98\times 16$

$\therefore \quad m_2=4\times 7\times \sqrt{2}=39{\cdot}48$ একক

এবং $m_1=5\times m_2=39{\cdot}48\times 5=197{\cdot}4$ একক

(3) 100 একক শক্তির একটি চৌম্বক মেরু হইতে 10 সে.মি. দূরে কোন বিন্দুতে প্রাবল্য কত ?

উ। আমরা জানি, r সে. মি. দূরে প্রাবল্য F হইলে, $F=\frac{m}{r^2}$

এক্ষেত্রে $m=100$ এবং $r=10$ সে. মি.

কাজেই, প্রাবল্য $F=\frac{100}{10\times 10}=1$ ওরস্টেড

(4) 16 এবং 25 একক-এর দুইটি সমমেরু পরস্পর হইতে 9 সে. মি. দূরে আছে। উহাদের যুক্ত করিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় ঐ রেখার কোন্ বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য শূন্য হইবে ?

উ। যেহেতু মেরু দুইটি সমমেরু কাজেই বোঝা যাইতেছে যে নির্ণেয় বিন্দু উহাদের মধ্যে অবস্থিত হইবে এবং কম শক্তির মেরুর কাছাকাছি হইবে। মনে কর, বিন্দুটি 16 একক শক্তির মেরু হইতে r সে. মি. দূরে অবস্থিত। তাহা হইলে,

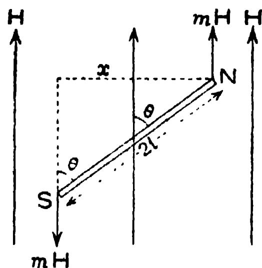
16 একক মেরুশক্তির দরুন ঐ বিন্দুতে প্রাবল্য$=\frac{16}{r^2}$

25 একক „ „ „ „ „ $=\frac{25}{(9-r)^2}$ ওরস্টেড

প্রশ্নানুযায়ী, $\frac{16}{r^2}=\frac{25}{(9-r)^2}$ বা, $\frac{4}{r}=\frac{5}{9-r}$ $\therefore \quad r=4$ সে. মি.

অর্থাৎ বিন্দুটি 16 একক মেরু হইতে 4 সে. মি. অথবা 25 একক মেরু হইতে 5 সে. মি. দূরে দুই মেরুর মধ্যে অবস্থিত হইবে।

2·5 **সমবল চৌম্বক ক্ষেত্রে স্বাধীনভাবে ঝুলন্ত চুম্বক ঃ চৌম্বক ভ্রামক (A freely suspended magnet in a uniform magnetic field; Magnetic moment)** ঃ মনে কর, NS একটি চুম্বক। উহার মেরুশক্তি 'm' এবং কার্যকর দৈর্ঘ্য $2l$; উহাকে H প্রাবল্যের সমবল চৌম্বক ক্ষেত্রে স্বাধীন ভাবে ঝুলাইয়া রাখা হইয়াছে। চুম্বকটি বাধা না পাইলে, স্থির অবস্থায় উহা ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে মুখ করিয়া অবস্থান করিবে।



চিত্র 2·2

ধর, চুম্বকটিকে ঐ অবস্থান হইতে θ কোণে আনত করিয়া ঘুরাইয়া রাখা হইল [চিত্র 2·2]। ঐ অবস্থায় চুম্বকটির N-মেরুতে একটি বল mH চুম্বক ক্ষেত্রের দিকে ক্রিয়া করিবে এবং S-মেরুতে সমান বল mH বিপরীত দিকে ক্রিয়া করিবে। এই দুইটি সমান, সমান্তরাল ও বিপরীতমুখী বল একটি দ্বন্দ্ব গঠন করে এবং ইহা পুনরায় চুম্বকটিকে স্থির অবস্থানে আনিবার চেষ্টা করে।

এখন, এই দ্বন্দ্বের ভ্রামক$=mH\times x$; কিন্তু $\frac{x}{2l}=\sin\theta$; অথবা $x=2l.\sin\theta$

অতএব, উপরোক্ত দ্বন্দ্বের ভ্রামক$=mH\times 2l\sin\theta$ .. (i)

সুতরাং বোঝা যাইতেছে যে চুম্বকটি স্থির অবস্থান হইতে θ কোণে আনত হইলে, উহার উপর একটি দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করে যাহার ভ্রামক$=2ml\,H\sin\theta$.

চৌম্বক ভ্রামক (Magnetic moment) ঃ উপরোক্ত ক্ষেত্রে $\theta=90°$ হইলে দ্বন্দ্বের ভ্রামক$=mH\times 2l\sin 90°=2ml\,H$

উপরন্তু, $H=1$ হইলে, ভ্রামক $=2ml=$মেরুশক্তি$\times$কার্যকর দৈর্ঘ্য।

এই ভ্রামক-কে বলা হয় **চৌম্বক ভ্রামক।**

সংজ্ঞা ঃ কোন চুম্বককে একক প্রাবল্য বিশিষ্ট ($H=1$) চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সমকোণে ($\theta=90°$) স্থাপন করিতে যে যান্ত্রিক দ্বন্দ্বের প্রয়োজন হয়, তাহার ভ্রামককে চৌম্বক ভ্রামক বলা হয়।

চৌম্বক ভ্রামক (M)=চুম্বকের মেরুশক্তি (m)$\times$ ইহার কার্যকর দৈর্ঘ্য ($2l$)।

2·6 **কোন চুম্বকের দুইটি মেরুর শক্তি সমান (Two poles of a magnet are of equal strength)** ঃ নিম্নের সহজ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়, কোন চুম্বকের দুইটি মেরুর শক্তি সমান।

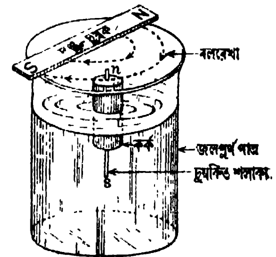
একটি দণ্ড-চুম্বক লইয়া উহাকে একখণ্ড কর্কের উপর রাখ এবং কর্কটিকে জলে ভাসাও। দেখিবে কর্কটি কিছুক্ষণ এদিক-ওদিক আন্দোলনের পর উত্তর-দক্ষিণ মুখ করিয়া স্থির হইয়া দাঁড়াইল। যদি চুম্বকটিকে হাত দিয়া নাড়াইয়া দেওয়া যায় তবে দেখা যাইবে উহা পাশে সরিয়া যাইতেছে না—একটু চক্রাকারে ঘুরিতেছে এবং অবশেষে উত্তর দক্ষিণ মুখ করিয়া দাঁড়াইয়াছে।

পাশে না সরিয়া চক্রাকারে ঘুরিলে বুঝিতে হইবে চুম্বকের উপর কোন একটি লব্ধ বল (single resultant force) ক্রিয়া করিতেছে না; দ্বন্দ্ব (couple) ক্রিয়া করিতেছে। কারণ, লব্ধ বল ক্রিয়া করিলে কর্কসহ চুম্বক ঐ বলের অভিমুখে সরল রেখায় সরিয়া যাইত ; তাহা না হইয়া দ্বন্দ্বের ফলে উহা চক্রাকারে ঘুরিতেছে। মনে কর, চুম্বকের দুই মেরুর শক্তি m এবং m' ; যেহেতু চুম্বক বাধাহীনভাবে পৃথিবীর চৌম্বক-ক্ষেত্রে অবস্থিত, কাজেই মেরু দুইটি যে-বল অনুভব করিবে তাহা mH এবং $m'H$. (H=ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ)]

যেহেতু চুম্বকটির উপর কোন একটি লব্ধ বল ক্রিয়া করে না এবং দ্বন্দ্ব দুইটি সমান, সমান্তরাল এবং বিপরীতমুখী বল দ্বারা গঠিত হয় কাজেই, $mH=m'H$। অর্থাৎ $m=m'$ অথবা মেরু দুইটির শক্তি সমান।

2·7 **চৌম্বক বলরেখা** (Magnetic lines of force) : কোন চুম্বকের চতুর্দিকে যে-চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্ট হয় উক্ত ক্ষেত্রে চৌম্বক বল (magnetic force) নির্দিষ্ট রেখা বরাবর ক্রিয়া করে। নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা ইহা বোঝা যাইবে।

পরীক্ষা : জলপূর্ণ একটি পাত্রের উপর একপাশে একটি দণ্ড চুম্বক N—S রাখিবার ব্যবস্থা কর (2·3 নং চিত্র)। একটি চুম্বকিত লৌহশলাকা এক টুকরা কর্কের ভিতর ঢুকাইয়া জলে ভাসাও যাহাতে শলাকা খাড়াভাবে ভাসিতে পারে এবং শলাকার n-মেরু জলের উপর থাকে। এইবার উক্ত লৌহ শলাকাকে দণ্ড-চুম্বকের N মেরুর নিকট লইয়া ছাড়িয়া দিলে দেখা যাইবে শলাকা আস্তে আস্তে একটি নির্দিষ্ট বক্রপথ অবলম্বন করিয়া দণ্ড-চুম্বকের S-মেরুর নিকট উপস্থিত হইল (2·3 নং চিত্র)। যদি শলাকাকে বার বার একই স্থান হইতে ছাড়া হয় তবে উহা একই পথে বার বার যাইবে ; কিন্তু বিভিন্ন স্থান হইতে ছাড়া হইলে বিভিন্ন বক্রপথ অবলম্বন করিয়া চলিবে (চিত্রে কাটা কাটা দাগ দিয়া দেখানো হইয়াছে)। যদি শলাকার n-মেরু জলের মধ্যে এবং s-মেরু জলের উপরে রাখিয়া শলাকাকে ভাসানো হয় তবে উহা একই পথে যাইবে কিন্তু উহার অভিমুখ উল্টা হইবে। এইরূপ হইবার কারণ কি?



চিত্র 2·3

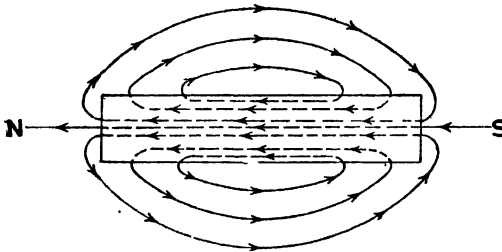
ইহার কারণ, শলাকার n-মেরু জলের উপরে থাকায় একই সঙ্গে দণ্ড-চুম্বকের N মেরু কর্তৃক বিকর্ষণ বল ও S-মেরু কর্তৃক আকর্ষণ বল অনুভব করে। তখন মেরুটি উক্ত দুই বলের লব্ধ (resultant) বলের অভিমুখে সরিয়া যায়। নূতন অবস্থায় পুনরায় উহার উপরে উক্ত দুই বল ক্রিয়া করায় লব্ধ বলের অভিমুখ পরিবর্তিত হয় এবং তাহাতে মেরুটি পুনরায় সরিয়া যায়। এইভাবে ক্রমশ বক্রপথ অবলম্বন করিয়া উহা দণ্ড-চুম্বকের S-মেরুর নিকট উপস্থিত হয়। সুতরাং ইহা হইতে বোঝা যায়, চৌম্বকক্ষেত্রে চৌম্বক বল একটি নির্দিষ্ট বক্ররেখা বরাবর ক্রিয়া করে। উক্ত বক্ররেখাকে দণ্ড চুম্বকের **বলরেখা** বলা হয়।

পূর্বে বলা হইয়াছে, n-মেরু ও s-মেরু চৌম্বক বলরেখা বরাবর বিপরীত দিকে গমন করে।

তাহা হইলে বলরেখার অভিমুখ কোন্ দিকে ধরা হইবে? সাধারণত উত্তর মেরু যে দিকে গমন করে তাহাই বলরেখার অভিমুখ বলিয়া ধরা হয় এবং উহা তীর-চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয় (2·3 নং চিত্র)। এই বলরেখা দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু হইতে শুরু হয় ও S-মেরুতে শেষ হয়।

সংজ্ঞা: কোন চুম্বকের চৌম্বক বলরেখা বলিতে এমন রেখা বুঝায় যে-রেখা বরাবর কোন সর্ববাধামুক্ত (free) বিচ্ছিন্ন (isolated) N-মেরু গমন করে এবং উক্ত রেখার যে-কোন বিন্দুতে স্পর্শক (tangent) টানিলে উক্ত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে লব্ধ চৌম্বক বলের অভিমুখ নির্দেশ করে।

খুব ক্ষুদ্র একটি চুম্বক-শলাকাকে চৌম্বকক্ষেত্রে মুক্ত অবস্থায় স্থাপন করিলে উহা সর্বদা চৌম্বক বলরেখার সমান্তরালভাবে অবস্থান করিবে।



2·4

বলরেখা প্রসঙ্গে উল্লেখ করা হইয়াছে, রেখাগুলি চুম্বকের N-মেরুতে সুরু হয় ও S-মেরুতে শেষ হয়। ইহাতে মনে হইতে পারে, বলরেখাগুলি বিচ্ছিন্ন (discontinuous); কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তাহা নয়। চুম্বকের ভিতরেও বলরেখা চলিয়া যায় এবং চুম্বকের অভ্যন্তরে ইহাদের গতি S-মেরু হইতে N-মেরুর দিকে (2·4 নং চিত্র)। সুতরাং **চৌম্বক বলরেখা বদ্ধ বলরেখা** (closed curves)।

2·8. **চৌম্বক বলরেখার ধর্ম** (Properties of magnetic lines of force): বিভিন্ন চৌম্বক ঘটনাগুলি বলরেখার সাহায্যে ব্যাখ্যা করিবার জন্য বলরেখাতে নিম্নলিখিত ধর্মগুলি আরোপ করা হয়:

(1) চৌম্বক বলরেখা বদ্ধ বক্ররেখা। চুম্বকের বাহিরে বলরেখার গতি N-মেরু হইতে S-মেরু পর্যন্ত এবং চুম্বকের অভ্যন্তরে উহার গতি S-মেরু হইতে N-মেরু পর্যন্ত।

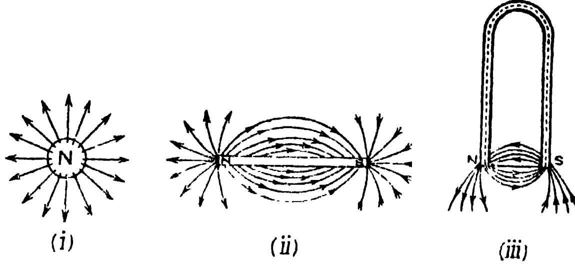
(2) টান করা স্থিতিস্থাপক সুতার ন্যায় প্রত্যেক বলরেখা দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হয়। বলরেখাগুলি পার্শ্বভাবে (laterally) দৈর্ঘ্যের অভিলম্বে পরস্পর চাপ দেয়।

(3) দুইটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করিবে না, কারণ, ছেদ করিলে ছেদবিন্দু দিয়া দুইটি বলরেখার উপর বিভিন্ন দিকে দুইটি স্পর্শক টানা যাইবে এবং ঐ স্পর্শক দুইটির প্রত্যেকটি ছেদ-বিন্দুতে লব্ধ বলের অভিমুখ নির্দেশ করিবে। কিন্তু একই বিন্দুতে লব্ধ বলের অভিমুখ দুইটি থাকা সম্ভব নয়। কাজেই দুইটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করাও সম্ভব নয়।

(4) N-মেরু হইতে চৌম্বক বলরেখা চুম্বক-পৃষ্ঠের লম্বভাবে নির্গত হয়, আবার S-মেরুতে চুম্বক-পৃষ্ঠের লম্বভাবে প্রবেশ করে।

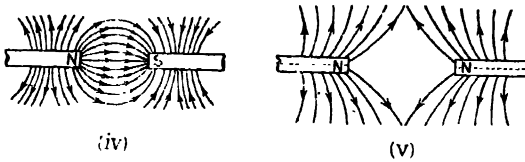
2·9. কয়েকটি স্থায়ী চুম্বকের বলরেখার চিত্র ঃ নিম্নে কয়েকটি স্থায়ী চুম্বক কিরূপ বলরেখা উৎপন্ন করিবে তাহা দেখানো হইল।

একটি মাত্র বিচ্ছিন্ন মেরু পাওয়া সম্ভব হইলে উহার জন্য যে বলরেখা উৎপন্ন হইত তাহা 2·5 (i) নং চিত্রের মত। বলরেখাগুলি মেরুকে কেন্দ্র করিয়া অঙ্কিত বৃত্তের ব্যাসার্ধগুলির মত



চিত্র 2·5

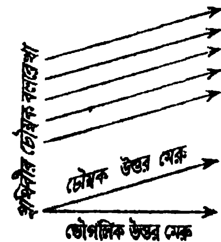
2·5 (ii) নং চিত্রে একটি দণ্ড-চুম্বকের ও 2·5 (iii) নং চিত্রে একটি অশ্বখুরাকৃতি চুম্বকের বলরেখাগুলি দেখানো হইয়াছে।



চিত্র 2·5

দুইটি বিষম-মেরু বা সম-মেরু মুখোমুখি রাখিলে কিরূপ বলরেখা উৎপন্ন হইবে তাহা 2·5 (iv) ও 2·5 (v) নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

2·10. সমবলসম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা (Lines of force due to a uniform magnetic field) **ঃ** সমবল সম্পন্ন চৌম্বকক্ষেত্রের সর্বত্র প্রাবল্য সমান এবং একমুখী হওয়ায় ঐ চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখাগুলি সর্বত্র পরস্পরের সমান্তরাল ঋজু রেখা হইবে। ঐ ধরণের চৌম্বকক্ষেত্রে কোন চুম্বকশলাকা রাখিলে উহা সর্বদা ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখী হইয়া একই দিকে নিজেকে স্থাপন করিবে।

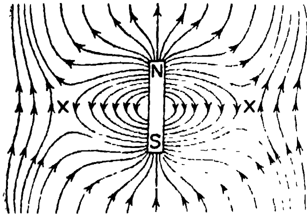


চিত্র 2·6

পৃথিবীর চৌম্বক মেরুদ্বয় পরস্পর হইতে বহু দূরে অবস্থিত বলিয়া কোন একটি সীমাবদ্ধ স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রকে আমরা সমবলসম্পন্ন বলিয়া মনে করিতে পারি। সুতরাং ঐ স্থানে সূচী-চুম্বকের সাহায্যে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা অঙ্কন করিলে উহারা কতকগুলি পরস্পর সমান্তরাল সরলরেখা হইবে (চিত্র 2·6)।

2·11. ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে দণ্ড-চুম্বকের বলরেখার পরিবর্তন (Change of lines of force of a bar-magnet due to earth's magnetic field) : 2·9 অনুচ্ছেদে যে বলরেখাগুলির আলোচনা করা হইয়াছে তাহা বিশেষ কোন চুম্বকের অথবা দুইটি চুম্বক-মেরুর দরুন। এই সকল ক্ষেত্রে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের কথা ধরা হয় নাই। প্রকৃত-পক্ষে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র এবং কোন বিশেষ চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্র—উভয়ের দ্বারা প্রভাবিত হইয়া বলরেখাগুলির সজ্জা পরিবর্তিত হয়। নিম্নে কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্রে বলরেখাগুলি কিরূপ হইবে তাহা দেখানো হইল।

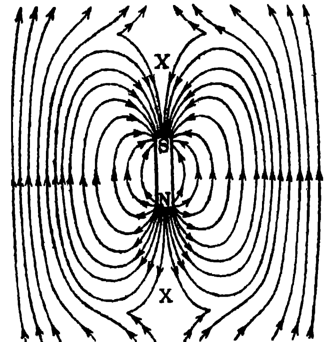
(ক) 2·7 নং চিত্রে যে বলরেখার সজ্জা দেখানো হইয়াছে তাহা N-মেরু উত্তরমুখী করিয়া রাখা দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্র ও ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের সম্মিলিত প্রভাবের দরুন। এই চিত্র লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, দণ্ড-চুম্বকের আড়াআড়ি দূরের বলরেখাগুলি প্রায় সোজা ও সমান্তরাল কিন্তু দণ্ড-চুম্বকের কাছাকাছি রেখাগুলি বাঁকা। ইহা প্রমাণ করে, সমান্তরাল রেখাগুলি ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা, কারণ কোনও স্থানে স্বল্পপরিসরে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র সমবলসম্পন্ন (uniform)। আর বক্ররেখাগুলি দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখা। তা'ছাড়া, দণ্ড-চুম্বকের আড়াআড়ি সমান দূরত্বে X-চিহ্নিত দুইটি স্থানে কোন বলরেখা দেখা যায় না। ঐ দুইটি বিন্দুকে **উদাসীন বিন্দু** (neutral point) বলে। উদাসীন বিন্দুদ্বয়ে কোন বলরেখা না থাকার কারণ ঐ স্থানে ভূ-চুম্বকের দরুন অনুভূমিক বল ও দণ্ড-চুম্বকের দরুন বল পরস্পরের সমান ও বিপরীত। উদাসীন বিন্দুদ্বয়ে কোন সূচী চুম্বক রাখিলে উহা যে-কোন দিকে মুখ করিয়া থাকিতে পারে, কারণ, ঐ স্থানে কোন চৌম্বকক্ষেত্র নাই।



চিত্র 2·7

সংজ্ঞা : ভূ-চুম্বক ও দণ্ড-চুম্বকের সম্মিলিত ক্ষেত্রে যে-বিন্দুতে ভূ-চুম্বকের দরুন অনুভূমিক বল ও দণ্ড-চুম্বকে দরুন বল পরস্পরের সমান ও বিপরীত হয়, সেই বিন্দুকে **উদাসীন বিন্দু** বলে।

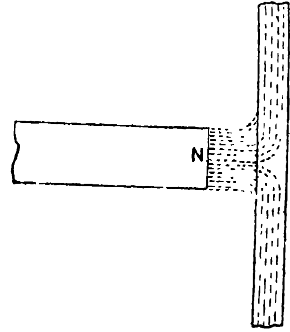
(খ) S-মেরু উত্তরমুখী করিয়া রাখা কোন দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্র ও ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র মিলিতভাবে যে বলরেখা উৎপন্ন করিবে তাহা 2·8 নং চিত্রে প্রদর্শিত হইল। এক্ষেত্রেও দুইটি উদাসীন বিন্দু পাওয়া যাইবে; কিন্তু বিন্দু দুইটি চুম্বক-অক্ষ বরাবর স্থাপিত হইবে এবং মেরুদ্বয় হইতে উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব সমান হইবে। X চিহ্ন দ্বারা বিন্দু দুইটির অবস্থান দেখানো হইয়াছে।



চিত্র 2·8

2·12. **চৌম্বক পর্দা ঃ** (Magnetic screen) ঃ যদি একটি নরম লোহার আংটাকে কোন দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রে অথবা দুইটি চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মধ্যস্থলে রাখা যায় তাহা হইলে বলরেখাগুলি আংটার লোহার মধ্য দিয়া ঢুকিয়া পুনরায় লোহার মধ্য দিয়া বাহির হইয়া যায়; আংটার মধ্যস্থ বায়ুপূর্ণ খালি জায়গায় প্রবেশ করে না; সুতরাং আংটার মধ্যস্থ খালি জায়গা চুম্বক-প্রভাব হইতে মুক্ত এবং ঐ স্থানে কোন চুম্বক-শলাকা রাখিলে তাহা অবিচলিত (undisturbed) থাকিবে।

একটি দণ্ড-চুম্বকের মেরুর সম্মুখে কোন চুম্বক-শলাকা রাখিলে শলাকা বিক্ষিপ্ত হইবে, কিন্তু উহাদের মধ্যস্থলে একটি নরম লোহার পাত রাখিলে শলাকার কোন প্রকার বিক্ষেপ হইবে না, কারণ, দণ্ড-চুম্বক হইতে নির্গত বলরেখাগুলি লোহার ভিতর দিয়া উপরে এবং নীচে চলিয়া যায়; পাত ভেদ করিয়া অপর পার্শ্বে যাইতে পারে না (2·9 নং চিত্র)। নরম লোহার এইরূপ ব্যবহারের জন্য পূর্বোক্ত আংটা বা পাতকে **চৌম্বক পর্দা** বলা হয়। নরম লোহাই এইরূপ ব্যবহার করিতে পারে; কাঠ, কাচ বা কাগজ ইত্যাদি রাখিলে এইরূপ কোন ব্যবহার লক্ষিত হইবে



চিত্র 2·9

নরম লোহাকে চৌম্বক পর্দা হিসাবে ব্যবহার করিয়া গ্যালভ্যানোমিটার প্রভৃতি সূক্ষ্ম যন্ত্রপাতি বহিরাগত চৌম্বক ক্ষেত্র হইতে রক্ষা করা হয়। চুম্বকের প্রভাব হইতে দামী ঘড়ি রক্ষা করিবার জন্য ঘড়ির চারিদিকে একটি নরম লোহার বেড় দেওয়া হয়। ঐরূপ ঘড়িকে 'ম্যাগনেট প্রুফ' (magnet proof) ঘড়ি বলা হয়।

Exercises

1. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্পর্কে যাহা জান লেখ ঃ—(*a*) চৌম্বক ক্ষেত্র, (*b*) চৌম্বক বলরেখা, (*c*) উদাসীন বিন্দু। *[H.S. Exam. 1964]*

2. কুলম্বের নিয়ম ব্যাখ্যা কর। ঐ নিয়ম হইতে একক শক্তির চৌম্বক মেরু'র সংজ্ঞা লেখ। *[of H. S. (Comp). 1971]*

3. 'চৌম্বক ক্ষেত্র' বলিতে কি বোঝ? 'চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে প্রাবল্য' বলিতে কি বুঝায়? ঐ বিন্দুর দূরত্বের উপর বিন্দুর প্রাবল্য কিরূপে নির্ভর করে? ইহার একক কি? একটি চুম্বকের দুই মেরু সমশক্তিসম্পন্ন—ইহা কিরূপে প্রমাণ করিবে? *[H. S. (Comp) 1971]*

5. একটি সূচী-চুম্বককে কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের এক জায়গায় বার বার রাখিলে একই দিকে মুখ করিয়া থাকে কিন্তু বিভিন্ন জায়গায় রাখিলে বিভিন্ন দিকে মুখ করিয়া থাকে। এরূপ হইবার কারণ কি?

6. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে বলরেখার প্রকৃতি এবং দিকনির্দেশ উল্লেখ কর :—(*a*) একটি বিচ্ছিন্ন একক মেরুর ক্ষেত্রে, (*b*) একটি দণ্ড-চুম্বকের ক্ষেত্রে, (*c*) দুইটি মুখোমুখি রাখা সমমেরুর ক্ষেত্রে।

7. একটি সমবলসম্পন্ন চৌম্বকক্ষেত্রে স্বাধীনভাবে ঝুলানো একটি চুম্বকের উপর ক্রিয়ারত দ্বন্দ্ব নির্ণয় কর। ইহা হইতে চৌম্বকভ্রামকের সংজ্ঞা লেখ।

8. 8cm. দীর্ঘ একটি দণ্ড-চুম্বক $H=0{\cdot}18$ প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত আছে। উহার মেরুশক্তি 5; দণ্ড-চুম্বককে চ�ৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের অভিলম্বভাবে বিক্ষিপ্ত করিতে যে দ্বন্দ্ব প্রয়োজন তাহার ভ্রামক নির্ণয় কর। [Ans. 7.2 units]

9. একটি দণ্ড-চুম্বককে চৌম্বক মধ্যরেখায় রাখিয়া (*a*) উহার উত্তর-মেরু উত্তরমুখী করিলে এবং (*b*) উত্তর-মেরু দক্ষিণমুখী করিলে, উহার চতুর্দিকে যে বলরেখা হইবে তাহা অঙ্কন কর। উক্ত দুই ক্ষেত্রে উদাসীন বিন্দুর অবস্থান চিহ্নিত কর। [*cf H. S. Exam. 1964*]

10. মুখোমুখি রাখা S এবং N মেরুর মধ্যস্থলে একটি নরম লোহার আংটা রাখিলে ঐ স্থানের চৌম্বক ক্ষেত্র কিরূপভাবে প্রভাবিত হইবে? আংটা বসাইবার পূর্বে ও পরে ঐ স্থানের বলরেখার চিত্র অঙ্কন কর।

11. ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব হইতে একটি ক্ষুদ্র সূচী-চুম্বককে কিরূপে আড়াল করিবে? ইহার একটি চিত্র আঁক এবং ঐ চিত্রে বলরেখা প্রদর্শন কর।

12. দুইটি মেরুর মেরুশক্তি 40 ও 60 এবং বায়ুতে উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব 10 সে. মি.। উহাদের ভিতর কত বল ক্রিয়া করিতেছে? [Ans. 24 ডাইন]

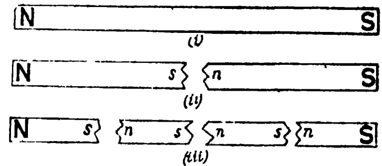
13. একটি মেরু অপর একটি মেরু হইতে আটগুণ শক্তিশালী এবং বায়ুতে উভয়ের দূরত্ব 10 সে. মি. হইলে একটি অপরটির উপর 500 মিলিগ্রাম ওজনের বলপ্রয়োগ করে। উভয়ের মেরুশক্তি নির্ণয় কর। [Ans. 78; 624]

14. দুইটি মেরু বায়ুতে 2 সে. মি. দূরে থাকিয়া পরস্পরকে 2·5 ডাইন বলে বিকর্ষণ করে। উভয়ের বিকর্ষণ বল যখন 3·6 ডাইন, তখন উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব কত? উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব যখন 5 সে. মি. তখন বিকর্ষণ বল কত? [Ans. 1·66 সে. মি. 0·4 ডাইন]

চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব

(Molecular theory of magnetism)

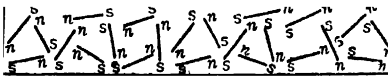
3·1. **একটি মেরু পৃথক্ করা অসম্ভব** (Isolation of a single pole is impossible)ঃ প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম চুম্বকের দুইটি মেরু থাকে। এই দুইটি মেরু হইতে কোন একটিকে বিচ্ছিন্ন করা সম্ভব নয়। একটি চুম্বক লইয়া সমান দুই টুক্‌রা করিয়া ফেলিলে আপাতদৃষ্টিতে মনে হয় বুঝি মেরু বিচ্ছিন্ন হইল। কিন্তু প্রত্যেক টুক্‌রাকে পৃথক্ ভাবে চুম্বক-শলাকার দ্বারা পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, প্রত্যেক টুক্‌রাতে দুইটি করিয়া মেরু আছে। অর্থাৎ, ভগ্ন স্থানের দুই মুখে বিপরীত মেরুর উদ্ভব হইয়া প্রত্যেক টুকরাই স্বয়ংসম্পূর্ণ চুম্বক হইয়াছে। এই দুই টুকরার প্রত্যেকটিকে যদি আবার অর্ধেক করিয়া ফেলা যায় তবে প্রত্যেক ভাগই স্বয়ংসম্পূর্ণ চুম্বক বলিয়া প্রমাণিত হইবে (3·1 নং চিত্র)। এইরূপে ক্রমাগত ভাঙ্গিয়া ছোট করিলে সব সময়ই ভগ্ন অংশগুলি দুই মেরুবিশিষ্ট চুম্বকে পরিণত হইবে। কিছুতেই দণ্ড-চুম্বকের দুইটি মেরু পৃথক্ করা যাইবে না।



চিত্র 3·1

3·2. **চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব** (Molecular theory of magnetism)ঃ পূর্বের অনুচ্ছেদ হইতে আমরা জানিতে পারি, কোন চুম্বককে ভাঙ্গিয়া টুক্‌রা টুক্‌রা করিলে কিছুতেই দুইটি মেরু পথক্ করা যায় না। চুম্বকের এই ক্রমিক বিভাজনের ফলে শেষ পর্যন্ত আমরা চুম্বকের একটি অণু অথবা পরমাণুসমষ্টিতে পৌঁছাইব। তখনও ঐ অণু বা পরমাণুসমষ্টি দুই মেরু-বিশিষ্ট স্বয়ংসম্পূর্ণ চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করিবে। ইহাকে বলা হয় **চৌম্বক এলাকা** (magnetic domains)। এই ঘটনা হইতে বিশিষ্ট জার্মান বিজ্ঞানী ওয়েবার চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব সম্বন্ধে একটি মতবাদ প্রচার করেন।

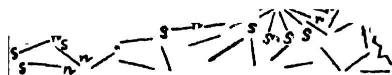
ওয়েবারের মতানুযায়ী চুম্বকত্ব পদার্থের আণবিক ধর্ম। প্রত্যেক চুম্বকের অণুগুলি এক একটি ক্ষুদ্র চুম্বক। তিনি আরও বলেন, **চৌম্বক পদার্থের অণুগুলিও দুই মেরুবিশিষ্ট স্বতন্ত্র চুম্বক কিন্তু চুম্বকিত না করা পর্যন্ত এই অণু-চুম্বকগুলি বদ্ধমুখ শৃঙ্খলের** (closed chain) **ন্যায় সজ্জিত থাকে। ফলে একটি অণুর N-মেরু অপর অণুর S-মেরুর মুখোমুখি হওয়াতে ইহাদের চৌম্বক ধর্ম প্রকাশ পায় না** (3·2 নং চিত্র)। সেইজন্য চুম্বকিত



চিত্র 3·2

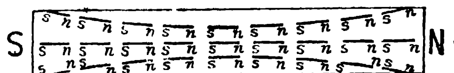
না করা পর্যন্ত চৌম্বক পদার্থের কোন স্বাধীন (free) মেরু দেখা যায় না বা চৌম্বক পদার্থ চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে না।

কিন্তু যখন কোন চৌম্বক পদার্থকে কোন শক্তিশালী মেরুর কাছে আনা যায় (ধর S-মেরুর) তখন ঐ মেরুর প্রভাবে বদ্ধমুখ শৃঙ্খলগুলি ভাঙ্গিয়া যায়। অণু-চুম্বকগুলির *n*-মেরু ঘর্ষণকারী S-মেরু কর্তৃক আকর্ষিত হইয়া উহার দিকে মুখ করিয়া ঘুরিয়া দাঁড়ায় (3·3 নং চিত্র)। এইভাবে ঘর্ষণকারী S-মেরু দ্বারা বার বার চৌম্বক পদার্থটিকে ঘষিলে ক্রমশ বেশী সংখ্যক অণু-চুম্বক উপরোক্তভাবে সজ্জিত হইয়া পড়িলে চৌম্বক পদার্থটি চুম্বকে পরিণত হয় (3·4 নং চিত্র)।



চিত্র 3·3

চৌম্বক পদার্থটির দৈর্ঘ্যের মাঝামাঝি স্থানে অণু চুম্বকগুলির বিপরীত মেরু মুখোমুখি থাকায় উহারা পরস্পরের প্রভাব নষ্ট করিয়া দেয়। তাই মাঝখানে কোন চৌম্বক ধর্ম দেখা যায় না। শুধু দুই প্রান্তে মেরুগুলি একই ধর্মাবলম্বী বলিয়া নিজেদের প্রভাব অক্ষুণ্ণ রাখে এবং প্রান্তদেশে বিপরীত মেরু সৃষ্টি করে।



চিত্র 3·4

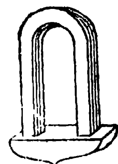
তাছাড়া দণ্ডের প্রান্তদেশে অণু-চুম্বকের শৃঙ্খলে সমমেরু থাকায় উহাদের ভিতর পারস্পরিক বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। ফলে শৃঙ্খলগুলি ঠিক সমান্তরাল হয় না ; প্রান্তের দিকে বাঁকিয়া যায়। এই কারণে দণ্ড-চুম্বকের মেরু দণ্ডের ঠিক প্রান্তে অবস্থিত হয় না, প্রান্তের কাছাকাছি কোন বিন্দুতে অবস্থিত হয়। তাছাড়া প্রত্যেক শৃঙ্খলের দুই প্রান্তে একটি করিয়া মুক্ত আণবিক মেরু থাকায় বোঝা যায় যে, চুম্বকের মোট মুক্ত N-মেরু এবং S-মেরু পরস্পরের সমান।

3·3. আণবিক চৌম্বকতত্ত্ব দ্বারা ঘর্ষণজাত চুম্বকত্বের ব্যাখ্যা (Explanation of magnetisation by rubbing according to the molecular theory) : ঘর্ষণপ্রণালী দ্বারা কৃত্রিম চুম্বক তৈরী করা যায় ইহা আমরা জানি। আণবিক তত্ত্ব দ্বারা এই প্রণালী ব্যাখ্যা করা সম্ভব।

একক স্পর্শপ্রণালীতে যখন ঘর্ষণকারী S-মেরু দ্বারা ইস্পাত দণ্ডের একপ্রান্ত স্পর্শ করা হয় তখন স্পর্শবিন্দুর কাছাকাছি ইস্পাত দণ্ডের অণু-চুম্বকগুলির *n*-মেরু ঘুরিয়া ঘর্ষণকারী S-মেরুর মুখোমুখি হয় ও অণু-চুম্বকগুলির *s*-মেরু উল্টাদিকে ঘুরিয়া দাঁড়ায় (চিত্র 3·3)। যতই ঘর্ষণকারী মেরুকে ইস্পাত দণ্ডের গা বাহিয়া অন্য প্রান্তের দিকে লইয়া যাওয়া হয় ততই স্পর্শরেখা বরাবর অণু-চুম্বকগুলি উপরোক্তভাবে ঘুরিয়া দাঁড়ায়। যখন ঘর্ষণকারী S-মেরু ইস্পাত দণ্ড হইতে তুলিয়া লওয়া হয় তখন ইস্পাত দণ্ডের অণু-চুম্বকগুলির কতকাংশের *n*-মেরু উক্ত প্রান্তের দিকে মুখ করিয়া দাঁড়ায় ও *s*-মেরু বিপরীত দিকে মুখ করে। এইরূপে বারবার ঘষিলে বেশীসংখ্যক

অণু-চুম্বকগুলি উপরোক্তভাবে সজ্জিত হইয়া পড়ে। তখন ইস্পাত দণ্ডটির দুইপ্রান্তে বিপরীত মেরুর উৎপত্তি হয় ও দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হয়।

অন্যান্য স্পর্শপ্রণালীগুলিও উপরোক্তভাবে আণবিক চৌম্বকতত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে। একথা মনে রাখিতে হইবে, ঘর্ষণের ফলে দণ্ডের উপরতলের অণু-চুম্বকগুলি মাত্র প্রভাবিত হয়, কারণ, ঘর্ষণকারী চুম্বকের প্রভাব দণ্ডের অভ্যন্তরে বিশেষ প্রবেশ করিতে পারে না। এই জন্য বারবার ঘষিতে হয় ও দণ্ডটি উল্টাইয়া নিম্নতলও পুনরায় ঘষিতে হয়। ঘর্ষণপ্রণালী দ্বারা শক্তিশালী চুম্বক তৈয়ারী করিতে গেলে একটি মোটা দণ্ড না লইয়া কয়েকটি পাতলা পাত লইয়া উহাদের ঘর্ষণপ্রণালী দ্বারা চুম্বকিত করার পর পাতগুলি এমন-ভাবে সাজাইতে হইবে যে সব পাতগুলির N-মেরু একদিকে এবং S-মেরু অন্যদিকে থাকে। এই ধরণের চুম্বককে চুম্বক-ব্যাটারী বা laminated চুম্বক বলে (3·5 নং চিত্র)।



চিত্র 3·5

3·4. **চৌম্বক পদার্থের কয়েকটি বিশেষ ধর্ম** (Some special propeıties of a magnetic substance) ঃ

(i) **ভেদ্যতা** (Permeability) ঃ আমরা দেখিয়াছি, দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রে নরম লোহার আংটা রাখিলে বলরেখাগুলি ঐ আংটার ভিতর বেশী করিয়া জমা হয়। প্রকৃতপক্ষে, যে কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে চৌম্বক পদার্থ রাখিয়া দেখা যায়, ঐ পদার্থটি রাখিবার পূর্বে বায়ুতে যে কয়টি বলরেখা ছিল, পদার্থটি রাখিবার পর উহার ভিতর দিয়া বেশী পরিমাণ বলরেখা যাইতেছে। বায়ুর তুলনায় প্রতি বর্গক্ষেত্র দিয়া লম্বভাবে (normally) কোন চৌম্বক পদার্থের ভিতর কতগুণ বলরেখা যাইতেছে তাহা দ্বারা উক্ত পদার্থের ভেদ্যতা প্রকাশ করা হয়। যেমন, কোন চৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা 100 বলিলে বোঝা যাইবে যে, কোন চৌম্বকক্ষেত্রে প্রতি বর্গস্থানের ভিতর দিয়া বায়ুতে যে-কয়টি বলরেখা আছে, উক্ত পদার্থ রাখিলে উহার ভিতর দিয়া প্রতি বর্গস্থানে 100 গুণ বলরেখা থাকিবে। সাধারণ অচৌম্বক পদার্থ হইতে চৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা অনেক বেশী। আবার, বিভিন্ন চৌম্বক পদার্থেরও ভেদ্যতা ভিন্ন।

(বস্তুর ভিতর দিয়া প্রতি একক ক্ষেত্রফলের অভিলম্বভাবে যদি B সংখ্যক বলরেখা অতিক্রম করে এবং বায়ুর ভিতর দিয়া ঐভাবে যদি H সংখ্যক বলরেখা অতিক্রম করে, তবে ঐ বস্তুর চৌম্বক ভেদ্যতা $\mu=\frac{B}{H}$)

(ii) **চৌম্বক প্রবণতা** (Susceptibility) ঃ চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা বলিতে সাধারণভাবে আমরা ইহাই বুঝি, কত সহজে ঐ পদার্থে চুম্বকত্ব আবিষ্ট করা যায়। কোন চৌম্বক পদার্থকে চৌম্বকক্ষেত্রে রাখিলে উহাতে যে চুম্বকত্ব আবিষ্ট হইবে তাহা প্রথমত উক্ত পদার্থ এবং দ্বিতীয়ত চৌম্বক ক্ষেত্রের উপর নির্ভর করে। কিন্তু নির্দিষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রে আবিষ্ট চুম্বকত্ব পদার্থ-

ভেদে বিভিন্ন হইবে। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, নির্দিষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত নরম লোহার আবিষ্ট চুম্বকত্ব ইস্পাত অপেক্ষা অনেক বেশী। এইজন্য বলা হয়, নরম লোহার চৌম্বক প্রবণতা ইস্পাত অপেক্ষা বেশী।

একটি নরম লোহার দণ্ডকে চুম্বক-শলাকার যে-কোন মেরুর নিকট আনিলে দণ্ড-চুম্বকে চুম্বকত্ব আবিষ্ট হইবে এবং দণ্ড ও শলাকার ভিতর আকর্ষণের জন্য দণ্ডের দিকে চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ হইবে। কিন্তু নরম লোহার দণ্ডের পরিবর্তে সমান সাইজের ইস্পাত দণ্ড রাখিলে চুম্বক শলাকার বিক্ষেপ অপেক্ষাকৃত কম হইবে। ইহা হইতে বোঝা যায়, নরম লোহার আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ (অর্থাৎ, চুম্বক প্রবণতা) ইস্পাত অপেক্ষা বেশী। মিউমেটাল (73% নিকেল, 22% লোহা, 5% তামা) নামক একপ্রকার সংকর ধাতুর চৌম্বক প্রবণতা খুব বেশী।

(H প্রাবল্যের সমবলসম্পন্ন কোন চৌম্বকক্ষেত্রে কোন চৌম্বক পদার্থ রাখিলে (H ক্ষেত্রের বল-রেখার সমান্তরালে) যদি ঐ পদার্থের প্রতি একক ক্ষেত্রে I মেরুশক্তির মেরু উৎপন্ন হয়, তবে ঐ পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা $K=\frac{I}{H}$; এক্ষেত্রে I-কে ঐ বস্তুর চুম্বকনের পরিমাপ (intensity of magnetisation) বলা হয়। প্রমাণ করা যায় যে $\mu=1+4\pi k$)

(iii) **ধারণক্ষমতা** (Retentivity) এবং **সহনশীলতা** (Coercivity) : দুইটি একই আকার ও সাইজের নরম লোহা ও ইস্পাতের দণ্ড লইয়া একই চৌম্বক বল (magnetising force) দ্বারা চুম্বকিত করিয়া ঐ চৌম্বক বল অপসারণ করিলে দেখা যায়, **বিশেষ অবস্থায়, চৌম্বক বল অপসারণ সত্ত্বেও ইস্পাতের ন্যায় নরম লোহা প্রায় পূর্ণ চুম্বকত্ব ধরিয়া রাখিয়াছে।** পরীক্ষা করিয়া দেখা যায় উভয় দণ্ডই প্রায় শতকরা 90 ভাগ চুম্বকত্ব বজায় রাখে। কিন্তু দণ্ড দুইটিকে একটু নাড়াচাড়া করিলে সঙ্গে সঙ্গে নরম লোহার প্রায় সব চুম্বকত্বই অন্তর্হিত হয় কিন্তু ইস্পাতের চুম্বকত্বের বিশেষ পরিবর্তন হয় না ; অর্থাৎ, ইস্পাত এবং নরম লোহার ধারণক্ষমতা প্রায় সমান। কিন্তু নরম লোহার সহনশীলতা অনেক কম। কারণ, দুইটি পদার্থই বিশেষ অবস্থায় প্রায় সমপরিমাণ চৌম্বকত্ব ধরিয়া রাখিতে সক্ষম ; কিন্তু ঐ চুম্বকত্ব দূর করিবার জন্য বল প্রয়োগ করিলে নরম লোহা ঐ বলের বিরুদ্ধে বিশেষ কোন বাধা সৃষ্টি করে না। তবে সাধারণ অবস্থায় নরম লোহার ধারণ-ক্ষমতা ইস্পাত অপেক্ষা কম দেখা যায়।

বিভিন্ন যন্ত্রপাতিতে ব্যবহার করিবার জন্য স্থায়ী ও অস্থায়ী চুম্বক তৈরী করিবার সময় চৌম্বক পদার্থের উপরোক্ত বিশেষ ধর্মগুলি বিচার করা হয় এবং সেই অনুযায়ী লোহা, ইস্পাত বা বিভিন্ন সংকর ধাতুকে কাজে লাগানো হয়। যেমন, স্থায়ী চুম্বক তৈরী করিতে হইলে উহার উপাদানের ধারণক্ষমতা ও সহনশীলতা উচ্চ হওয়া প্রয়োজন। তাই স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে সর্বদা টাংস্টেন স্টীল, কোবাল্ট স্টীল, অ্যালনিকো, টিকোনাল (টিটানিয়াম, কোবাল্ট, নিকেল ও অ্যালুমিনিয়ামের সংমিশ্রণে তৈরী) প্রভৃতি ব্যবহার করা হয়। আবার, তড়িৎচুম্বক তৈরী করিবার উপযোগী উপাদান হইতে হইলে উহার ধারণক্ষমতা ও সহনশীলতা খুব কম হওয়া প্রয়োজন। তাই, তড়িৎ-চুম্বক নির্মাণে সর্বদা নরম লোহা বা স্ট্যালয় (stalloy)—যাহা 5% সিলিকন এবং 95% লৌহ দ্বারা তৈরী—ব্যবহৃত হয়। ট্রান্সফরমার 'কোর' (core) নির্মাণে এমন উপাদান নির্বাচন

করিতে হইবে যাহার উচ্চ ভেদ্যতা আছে। তাই, আজকাল এই উদ্দেশ্যে 'প্যারম্যালয়' (শতকরা 50 ভাগ লোহা এবং 50 ভাগ নিকেল) এবং ট্রান্সফরমার ইস্পাত (transformer steel) —নরম লোহার সহিত 4% সিলিকনের মিশ্রণ—নামক সংকর ধাতুর বহুল ব্যবহার দেখা যায়।

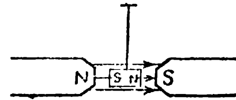
3·5. পরাচৌম্বক, তিরশ্চৌম্বক এবং অয়শ্চৌম্বক পদার্থ (Paramagnetic, dia-magnetic and ferro-magnetic substances) ঃ শক্তিশালী চুম্বক লইয়া পরীক্ষা করিয়া ফ্যারাডে দেখিতে পান যে কিছু কিছু পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং কিছু কিছু পদার্থ বিকর্ষিত হয়। চুম্বক যে-সকল পদার্থকে আকর্ষণ করে তাহাদের বলা হয় **পরাচৌম্বক** পদার্থ এবং যে-সকল পদার্থকে বিকর্ষণ করে তাহাদের বলা হয় **তিরশ্চৌম্বক** পদার্থ। যেমন, লোহা, অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল, কোবাল্ট ইত্যাদি চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয়; কাজেই উহারা পরাচৌম্বক পদার্থ। আবার বিসমাথ, অ্যান্টিমনি, দস্তা প্রভৃতি চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হয়; সুতরাং উহারা **তিরশ্চৌম্বক** পদার্থ।

পরাচৌম্বক পদার্থের ভিতর আবার কয়েকটি পদার্থ চুম্বক কর্তৃক বিশেষভাবে আকৃষ্ট হয়। ইহাদের বলা হয় অয়শ্চৌম্বক পদার্থ। যেমন, নরম লোহা এবং ইস্পাত।

নিম্নে ইহাদের সম্বন্ধে আলোচনা করা হইল।

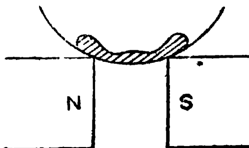
(ক) **পরাচৌম্বক পদার্থ** ঃ পরাচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা উচ্চমানের এবং চৌম্বকগ্রাহিতা ধনাত্মক কিন্তু নিম্নমানের। ইহাদের চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করিলে, ইহারা ক্ষেত্রের দুর্বলতর অংশ হইতে প্রবলতর অংশে গমন করে এবং চুম্বক দ্বারা আকর্ষিত হয়। পরাচৌম্বক পদার্থের উদাহরণস্বরূপ লোহা, অ্যালুমিনিয়াম, ম্যাংগানীজ, প্লাটিনাম, ক্রোমিয়াম, লৌহ ও অক্সিজেন ঘটিত লবণের দ্রবণ ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে।

ধর্মাবলী (Properties) ঃ (i) পরাচৌম্বক পদার্থের একটি পাতলা দণ্ড লও এবং উহাকে একটি শক্তিশালী তড়িৎ চুম্বকের শঙ্কু আকারের মেরুদ্বয়ের মাঝখানে ঝুলাও। এখন তড়িৎচুম্বক দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইয়া চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন করিলে দেখা যাইবে দণ্ডটি নিজের অক্ষ চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখী করিয়া ঘুরিয়া দাঁড়াইয়াছে (চিত্র নং 3·6)। ইহা হইতে বোঝা যায় পরাচৌম্বক পদার্থ চৌম্বকক্ষেত্রের দুর্বল অংশ হইতে প্রবল অংশে গমন করে। তাছাড়া, চৌম্বকক্ষেত্রে পরাচৌম্বক পদার্থ স্থাপন করিলে বলরেখাগুলি বেশী পরিমাণে ঐ পদার্থের মধ্য দিয়া যাইবার চেষ্টা করে। ফলে, পদার্থের অভ্যন্তরে বলরেখাগুলির ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়।



চিত্র 3·6

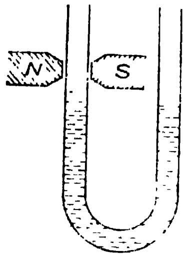
(ii) একটি ওয়াচ-গ্লাসে (watch glass) খানিকটা পরাচুম্বকধর্মী তরল পদার্থ লইয়া একটি তড়িৎ-চুম্বকের দুই মেরুর উপর রাখিলে দেখা যায়, তরল মাঝখানে আসিয়া জমা হইয়াছে। মেরু দুইটি ফাঁক করিয়া রাখিলে উল্টা ব্যাপার ঘটিবে অর্থাৎ তরল মাঝখান হইতে সরিয়া গিয়া দুই মেরুর উপর জমা হইবে (চিত্র নং 3·7)। ইহার



চিত্র 3·7

কারণ এই যে মেরুদ্বয় কাছাকাছি থাকিলে উহাদের মাঝখানে চৌম্বক ক্ষেত্র সর্বাপেক্ষা প্রবল ; আর ফাঁক ফাঁক করিয়া রাখিলে মেরুর উপর চৌম্বক ক্ষেত্র সর্বাপেক্ষা প্রবল।

(iii) একটি U-নলে কিছু পরাচৌম্বক তরল ঢালিলে, নলের দুই বাহুতেই তরল এক লেভেলে থাকিবে। এইবার U-নলের যে কোন বাহুকে তড়িৎ-চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মাঝে রাখিয়া তড়িৎ চুম্বক দিয়া তড়িৎ প্রবাহ পাঠাইলে দেখা যাইবে যে ঐ বাহুর তরল অপর বাহু অপেক্ষা ঊর্ধ্বে উঠিয়াছে। (চিত্র নং 3·8)।



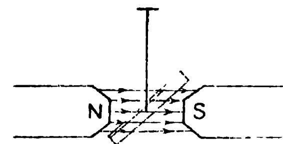
চিত্র 3·8

(iv) পরাচুম্বক ধর্মী কোন গ্যাসকে যদি তড়িৎচুম্বকের মেরুদ্বয়ের মাঝখানে নীচু হইতে উপরে উঠিতে দেওয়া হয় তবে দেখা যায় যে, মেরুদ্বয়ের মাঝখানে পৌঁছিয়া গ্যাস চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ বরাবর ছড়াইয়া পড়িয়াছে।

(v) পরাচুম্বকধর্মী পদার্থের চৌম্বকগ্রাহিতা উহার পরম তাপমাত্রার সহিত ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহার চৌম্বকগ্রাহিতা হ্রাস পাইতে থাকে এবং একটি নির্দিষ্ট উচ্চ তাপমাত্রায় চৌম্বকগ্রাহিতা ঋণাত্মক হয়—অর্থাৎ পরাচৌম্বক পদার্থ তিরশ্চৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়।

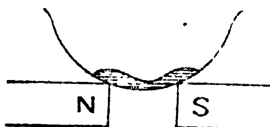
(খ) <u>তিরশ্চৌম্বক পদার্থ</u> : তিরশ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা নিম্নমানের এবং চৌম্বকগ্রাহিতা ঋণাত্মক। চৌম্বকক্ষেত্রে তিরশ্চৌম্বক পদার্থ প্রবল অংশ হইতে দুর্বল অংশে গমন করে এবং চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হয়। তিরশ্চৌম্বক পদার্থের চুম্বকত্ব তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না। উদাহরণস্বরূপ বিসমাথ, অ্যান্টিমনি, ফসফরাস, তামা, অ্যালকোহল, পারদ, সোনা, হাইড্রোজেন, জল ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে।

ধর্মাবলী : (i) তিরশ্চৌম্বক পদার্থের একটি পাতলা দণ্ডকে শক্তিশালী তড়িৎ-চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মধ্যে ঝুলাইয়া দিলে, উহা চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে নিজেকে স্থাপিত করে (চিত্র নং 3·9)। ইহার কারণ তিরশ্চৌম্বক পদার্থের ধর্ম হইতেছে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রবলতর অংশ হইতে দুর্বলতর অংশে সরিয়া যাওয়া।



চিত্র 3·9

চৌম্বক ক্ষেত্রে তিরশ্চৌম্বক পদার্থ স্থাপন করিলে বলরেখাগুলি ঐ পদার্থকে এড়াইয়া যাইবার চেষ্টা করে, ফলে পদার্থের ভিতর বল রেখাগুলির ঘনত্ব হ্রাস পায়।



চিত্র 3·10

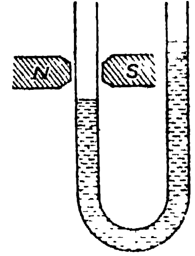
(ii) ওয়াচ-গ্লাসে রাখা কিছু তিরশ্চুম্বকধর্মী তরল তড়িৎ-চুম্বকের মেরুদ্বয়ের উপর রাখিলে উহারা মাঝখানে হইতে সরিয়া গিয়া দুই পাশে জমা হইবে। ফলে তরলের মাঝখানটা খানিকটা চাপা দেখাইবে (চিত্র 3·10)।

(iii) U-নলে তিরশ্চুম্বকধর্মী তরল লইয়া পরাচুম্বক তরলের ন্যায় পরীক্ষা করিলে

দেখা যায় যে মেরুদ্বয়ের মধ্যবর্তী বাহুর তরল নীচে নামিয়া গিয়াছে এবং অপর বাহুর তরল উর্ধ্বে উঠিয়াছে (চিত্র 3·11)।

(iv) কোন তিরশ্চুম্বকধর্মী গ্যাসকে একটি তড়িৎ চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মাঝখানে নীচু হইতে উঁচুতে উঠিতে দিলে উহা চৌম্বক-ক্ষেত্রের আড়াআড়ি ছড়াইয়া পড়ে।

(v) তিরশ্চুম্বক ধর্মী পদার্থের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রা পরিবর্তনে পরিবর্তিত হয় না—উহার মান স্থির থাকে।



চিত্র 3·11

(গ) **অয়শ্চৌম্বক পদার্থ ঃ** অয়শ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা খুব উচ্চমানের এবং চৌম্বকগ্রাহিতা ধনাত্মক ও উচ্চমানের। অয়শ্চৌম্বক পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং উহাকে চুম্বকে পরিণত করা যায়। উদাহরণস্বরূপ, লৌহ, ইস্পাত, কোবাল্ট, নিকেল এবং ইহাদের সংকর ধাতুর নাম করা যাইতে পারে।

ধর্মাবলী ঃ পরাচৌম্বক পদার্থের সকল ধর্মাবলীই অয়শ্চৌম্বক পদার্থে আছে এবং বেশী মাত্রায় আছে। পরাচৌম্বক পদার্থের ন্যায় অয়শ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বকগ্রাহিতা পরম তাপ-মাত্রার ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে চৌম্বকগ্রাহিতা হ্রাস পায় এবং একটি সংকট তাপমাত্রায় অয়শ্চুম্বক ধর্ম সম্পূর্ণরূপে লুপ্ত হয়; তখন উহা পরাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়। ঐ সংকট তাপমাত্রাকে বলা হয় **কুরী-বিন্দু** (Curie point)। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে লৌহের কুরী-বিন্দু প্রায় 770°C; নিকেলের 400°C এবং কোবাল্টের 1100°C।

Exercises

1. এক মেরুবিশিষ্ট চুম্বক সৃষ্টি করা সম্ভব নয়—ইহার কারণ কি?

2. তুমি যদি একটি চুম্বকদণ্ড ক্রমান্বয়ে ভাঙিয়া ছোট করিতে থাক তাহা হইলে কি লক্ষ্য করিবে? ইহা হইতে কি সিদ্ধান্ত করিতে পারো?

3. চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব কি? ঘর্ষণজাত চুম্বকত্ব এই তত্ত্বদ্বারা কিরূপে ব্যাখ্যা করিবে?

4. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্বন্ধে যাহা জান লেখ ঃ—(i) ভেদ্যতা (ii) চৌম্বকপ্রবণতা (iii) ধারণক্ষমতা (iv) সহনশীলতা।

5. অয়শ্চৌম্বক, পরাচৌম্বক এবং তিরশ্চৌম্বক পদার্থ কাহাকে বলে? পরাচৌম্বক ও তিরশ্চৌম্বক পদার্থের ভিতর সহজে পার্থক্য করিবে কিরূপে?

6. নিম্নলিখিত পদার্থগুলির কোন্‌টা কি বল?—প্লাটিনাম, বিসমাথ, ইস্পাত, অ্যালুমিনিয়াম, দস্তা, জল এবং নিকেল।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

ভু-চুম্বকত্ব
(Terrestrial magnetism)

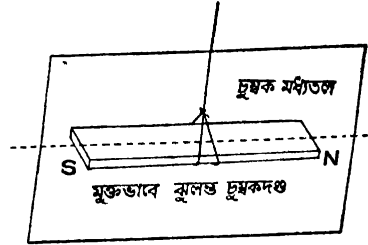
4·1 **পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক** (The earth is a buge magnet)ঃ আমরা জানি, মুক্ত অবস্থায় ঝুলানো চুম্বক বা চুম্বকশলাকা সর্বদা উত্তর-দক্ষিণ মুখ করিয়া থাকে। উহাকে নাড়াইয়া দিলে কিছুক্ষণ আন্দোলনের পর পুনরায় পূর্বের জায়গায় ফিরিয়া আসে। মনে হয় যেন কোন আকর্ষণ-বলের জন্যই চুম্বকশলাকা ঐরূপ নির্দিষ্ট দিকে মুখ করিয়া থাকে। এই ব্যাপার লক্ষ্য করিয়া বহু পূর্বে প্রায় 1600 খ্রীষ্টাব্দে ইংলণ্ডের রাণী এলিজাবেথের চিকিৎসক ডাঃ গিলবার্ট মত প্রকাশ করেন, পৃথিবী নিজেই একটি চুম্বক। ডাঃ গিলবার্ট বলেন, চুম্বক-শলাকাকে প্রভাবিত করিতে একমাত্র চুম্বকই সক্ষম। যেহেতু শলাকার চতুর্দিকে অন্য কোন চুম্বক নাই সুতরাং পৃথিবীর চৌম্বক প্রভাবের দরুনই শলাকার ঐরূপ ব্যবহার লক্ষিত হয়। পরে ডাঃ গিলবার্ট একটি চুম্বকের গোলক তৈরী করিয়া উহার নিকট ছোট ছোট চুম্বক রাখিয়া পরীক্ষা করিয়া দেখান যে, উহাদের ব্যবহারের সহিত পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে রক্ষিত চুম্বকের ব্যবহারের সাদৃশ্য আছে। তা'ছাড়া ইহাও জানা ছিল, মাটির ভিতর কোন চৌম্বক পদার্থ কিছুদিন পুঁতিয়া রাখিলে পৃথিবীর চৌম্বক প্রভাবের ফলে উক্ত চৌম্বক পদার্থ ক্ষীণ চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হয়। এই সমস্ত কারণে বিজ্ঞানীগণ মনে করেন, পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক।

পৃথিবীর এই চৌম্বক প্রভাবের সঠিক ব্যাখ্যা এখনও জানা যায় নাই। পৃথিবীর অভ্যন্তরে কোথাও যে এক বিরাট চুম্বক লুকানো আছে তাহাও নহে। তবুও দেখা যায়, পৃথিবী একটি চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে। সাধারণ চুম্বকের যেমন দুইটি মেরু থাকে পৃথিবীর চুম্বকেরও তেমনি দুইটি মেরু আছে। পৃথিবীর উত্তর চৌম্বক মেরু কানাডার বোথিয়া ফেলিক্স অঞ্চলে অবস্থিত এবং ইহা পৃথিবীর ভৌগোলিক উত্তর মেরু হইতে প্রায় 1500 মাইল দূরে। পৃথিবীর দক্ষিণ চৌম্বক মেরু দক্ষিণ ভিক্টোরিয়া অঞ্চলে অবস্থিত এবং ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরু হইতে প্রায় 1400 মাইল দূরে।

মনে রাখিতে হইবে চুম্বক-শলাকার যে-প্রান্ত পৃথিবীর উত্তর মেরু অভিমুখী তাহা প্রকৃতপক্ষে শলাকার দক্ষিণ-মেরু, কারণ, দুই বিষম মেরুর ভিতর আকর্ষণ হইয়া থাকে। সেজন্য শলাকার উক্ত প্রান্তকে বলা হয় উত্তর-সন্ধানী মেরু। কিন্তু সংক্ষেপ করিবার জন্য শলাকার ঐ প্রান্তকে উত্তর মেরুই বলা হয়। তেমনি শলাকার অপর প্রান্তকে বলা হয় দক্ষিন-সন্ধানী মেরু। সংক্ষেপে উহা দাঁড়াইয়াছে দক্ষিণ মেরু। এই জটিলতা দূর করিবার জন্য পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর মেরুকে নীলমেরু (bule pole) এবং চৌম্বক দক্ষিণ মেরুকে লাল-মেরু (red pole) অভিহিত করিবার প্রথাও প্রচলিত আছে।

চৌম্বক মধ্যতল (Magnetic meridian plane)ঃ কোন স্থানের চৌম্বক মধ্যতল

বলিতে ঐ স্থানের মধ্য দিয়া এবং পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর মধ্য দিয়া অঙ্কিত এক কাল্পনিক অভিলম্ব তল বুঝায় (চিত্র 4·1))। ঐ তলের উপর যদি একটি রেখা কল্পনা করা যায় যাহা মেরুদ্বয় এবং ঐ স্থানকে সংযুক্ত করে, তবে ঐ রেখাকে চৌম্বক মধ্যরেখা (meridian line) বলে।



চিত্র 4·1

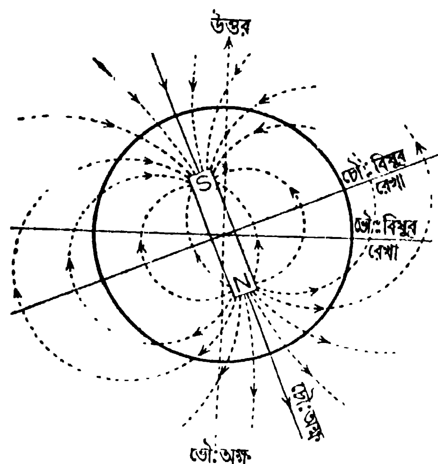
ভৌগোলিক মধ্যতল (Geographical merdian plane)ঃ কোন স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল বলিতে ঐ স্থানের মধ্য দিয়া এবং পৃথিবীর ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর মধ্য দিয়া অঙ্কিত এক কাল্পনিক অভিলম্ব তলকে বুঝায়। ঐ তলের উপর যদি একটি রেখা কল্পনা করা যায় যাহা ভৌগোলিক মেরুদ্বয়কে ও ঐস্থানকে সংযুক্ত করে, তবে ঐ রেখাকে ভৌগোলিক মধ্যরেখা বলে।

4·2 **পৃথিবী কর্তৃক চুম্বকন** (Magnetisation by the earth)ঃ পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে। ইহার স্বপক্ষে আরো একটি জোরালো প্রমাণ এই যে অন্যান্য চুম্বকের ন্যায় পৃথিবীও চুম্বকনে সক্ষম। অবশ্য এই চুম্বকন খুব ক্ষীণ। নরম লোহা, পারম্যালয়, মিউ-মেটাল প্রভৃতি বিশেষ ধরনের চৌম্বক-প্রবণ পদার্থ ছাড়া ইহা প্রদর্শন করা সম্ভব নয়। ঐ ধরনের চৌম্বক পদার্থকে যদি চৌম্বক মধ্যতলে ভূ-পৃষ্ঠের সমান্তরালভাবে বা উল্লম্বভাবে কিছুদিন রাখা যায় ও মাঝে মাঝে একটু টোকা দেওয়া হয় তবে উহারা ক্ষীণ চুম্বকে পরিণত হয়।

পৃথিবীর চুম্বকন শক্তির দৃষ্টান্ত নানা সাধারণ ঘটনার মধ্য দিয়া মাঝে মাঝে আমাদের দৃষ্টিগোচর হয়। যে সকল লোহার বরগা উত্তর-দক্ষিণ মুখ করিয়া ছাদে আটকানো আছে তাহাদের বা উল্লম্ব অবস্থায় রক্ষিত লোহার রেলিং বা স্তম্ভ পরীক্ষা করিলে ক্ষীণ চুম্বকত্ব ধরা পড়িবে। পৃথিবীর উত্তর গোলার্ধে উল্লম্ব লোহা, ইস্পাতের রেলিং ও স্তম্ভ প্রভৃতির নিম্ন প্রান্ত N-মেরু এবং দক্ষিণ গোলার্ধে নিম্নপ্রান্ত S-মেরু প্রাপ্ত হয়। ইহা পৃথিবীর চুম্বকন শক্তির জন্য ঘটে। জাহাজ নির্মাণের সময় ইস্পাতের প্লেটকে হাতুড়ী দিয়া পিটাইতে হয় ও রিভেট করিতে হয়। এই সময়ে পৃথিবীর চুম্বকত্বের দরুন প্লেটগুলিও ক্ষীণ চুম্বকে পরিণত হয়। ফলে, জাহাজ নির্মাণে ঐ প্লেটগুলি ব্যবহার করিলে জাহাজটিও ক্ষীণ চুম্বকত্ব লাভ করিবে। জাহাজের এই ক্ষীণ চুম্বকত্ব উপলক্ষ করিয়া গত মহাযুদ্ধে জার্মানরা 'ম্যাগনেটিক মাইন' উদ্ভাবন করিয়াছিল। জাহাজের ক্ষীণ চুম্বকত্ব এই মাইনকে সক্রিয় করিয়া তোলে এবং বিরাট বিস্ফোরণের সৃষ্টি করিয়া জাহাজটিকে ধ্বংস করে।

4·3 **ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা** (Lines of force of earth's magnetic field)ঃ যেহেতু পৃথিবী নিজে একটি বিরাট চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে সেইহেতু উহার নিজস্ব একটি চৌম্বকক্ষেত্র আছে। ভূ-চুম্বকের দুই মেরুর অবস্থান ভৌগোলিক মেরুর অবস্থান হইতে একটু দূরে। আমরা যদি মনে করি, পৃথিবীর চুম্বকত্ব পৃথিবীর অভ্যন্তরে রক্ষিত কোন

বিরাট দণ্ড-চুম্বকের জন্য, তবে ঐ দণ্ড-চুম্বককে 4·2 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ পৃথিবীর ভৌগোলিক অক্ষের সহিত প্রায় $11\frac{1}{2}°$* কোণ করিয়া স্থাপন করিতে হইবে। ঐ দণ্ড-চুম্বকের যে প্রান্ত পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর মেরুর অভিমুখী তথায় দণ্ড-চুম্বকের S-মেরু থাকিবে; কারণ, আমরা জানি বিষম মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করিয়া কাছাকাছি রাখে। তেমনি দণ্ড-চুম্বকের যে প্রান্ত পৃথিবীর চৌম্বক দক্ষিণ মেরুর অভিমুখী তথায় দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু থাকিবে; আমরা আরও জানি দণ্ড-চুম্বকের বলরেখা দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু হইতে নির্গত হইয়া S-মেরুতে প্রবেশ করে।



চিত্র 4·2

পৃথিবীর চুম্বকত্ব এইরূপ একটি কাল্পনিক দণ্ড-চুম্বকের জন্য সৃষ্টি হইতেছে ধরিয়া লইলে উহার বলরেখা 4·2 নং চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপ হইবে। এস্থলে লক্ষণীয় যে বলরেখাগুলি পৃথিবীর চৌম্বক দক্ষিণ-মেরু হইতে নির্গত হইতেছে এবং চৌম্বক উত্তর-মেরুতে প্রবেশ করিতেছে। কারণ, কাল্পনিক দণ্ড-চুম্বকের মেরুদ্বয়ের অবস্থান পৃথিবীর চৌম্বক মেরুদ্বয়ের অবস্থানের ঠিক উল্টা।

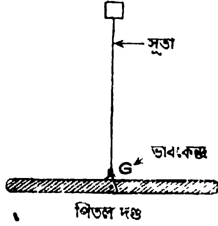
এই কারণে **দণ্ড-চুম্বকের বলরেখা N-মেরু হইতে S-মেরুর দিকে অভিমুখী দেখাইলে পৃথিবীর চৌম্বক বলরেখা উল্টা হইবে** অর্থাৎ **S-মেরু হইতে N-মেরুর অভিমুখী হইবে।**

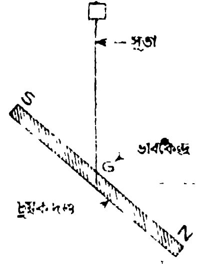
4·4 **ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান** (Elements of earth's magnetism): পৃথিবীর কোন স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের পরিমাণমূলক (quantitative) সঠিক ধারণার জন্য তিনটি মূল বিষয় জানা প্রয়োজন। উহাদের ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান বলে। উহা যথাক্রমে (1) বিনতি কোণ (angle of dip) (2) চ্যুতি কোণ (angle of declination) ও (3) ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক অংশ (horizontal component of earth's magnetic intensity)। এখন ইহাদের সম্বন্ধে একে একে আলোচনা করা হইবে।

(1) **বিনতি কোণ** (Angle of dip): কোন অচৌম্বক পদার্থ নির্মিত দণ্ড—ধরা যাউক, একটি পিতলের দণ্ড লইয়া উহাকে উহার ভারকেন্দ্র হইতে সুতা দিয়া ঝুলাইলে দণ্ডটি সর্বদা অনুভূমিক অবস্থায় ঝুলিবে [চিত্র 4·3(a)] কিন্তু কোন চুম্বক-দণ্ডকে ভারকেন্দ্র হইতে সুতা দিয়া

*এনসাইক্লোপিডিয়া ব্রিটানিকা—ভল্যুম ২১

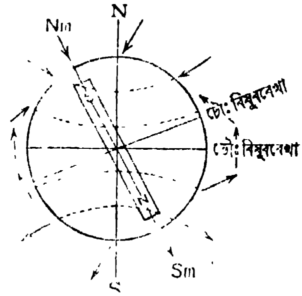
ঝুলাইলে উহা পৃথিবীর সব জায়গায় অনুভূমিক অবস্থায় ঝুলিবে না। দেখা যাইবে, চুম্বক-দণ্ডের





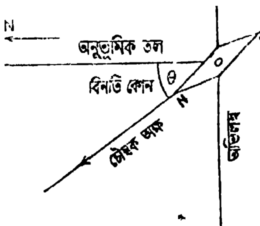
(a) চিত্র 4·3 (b)

অক্ষ কোন নির্দিষ্ট স্থানে অনুভূমিক রেখার সহিত একটু কাত হইয়া ঝুঁকিয়া আছে [চিত্র 4·3(b)]। ইহার কারণ, চুম্বক-দণ্ড পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা আকর্ষিত হয় এবং ঐ নির্দিষ্ট স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ অনুযায়ী নিজেকে স্থাপিত করে। যদি কোন ঝুলন্ত চুম্বকশলাকাকে ক্রমশ পৃথিবীর উত্তর গোলার্ধে লইয়া যাওয়া হয় তবে দেখা যাইবে, শলাকার উত্তরমেরু ক্রমশ নীচের দিকে ঝুঁকিতেছে। আবার দক্ষিণ গোলার্ধে লইয়া গেলে দেখা যাইবে দক্ষিণ মেরু নীচের দিকে ঝুঁকিতেছে। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে ঝুলন্ত চুম্বকশলাকার উত্তর-মেরু কোনদিকে মুখ করিয়া থাকিবে তাহা 4·3(c) নং চিত্রে তীরচিহ্নের দ্বারা দেখানো হইয়াছে।



চিত্র 4·3(c)

সংজ্ঞাঃ কোন স্থানে অভিলম্বতলে বাধাহীনভাবে ঝুলন্ত চুম্বক-শলাকার বিলম্ব বিন্দুর (point of suspension) মধ্য দিয়া অঙ্কিত অনুভূমিক তলের সহিত চুম্বকশলাকার অক্ষ যে-কোণ উৎপন্ন করিবে তাহাকে ঐ স্থানের **বিনতি কোণ** বলা হয়। কোন স্থানের বিনতি কোণ জানা থাকিলে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 4·4

4·4 নং চিত্রে ঐরূপ ঝুলন্ত চুম্বক-শলাকা দেখানো হইয়াছে। শলাকার অক্ষ বিলম্ববিন্দুর মধ্য দিয়া অঙ্কিত অনুভূমিক তলের সহিত θ কোণ উৎপন্ন করিয়াছে। সুতরাং ঐ স্থানের বিনতি কোণ θ।

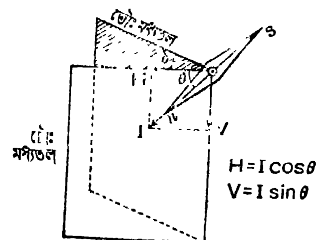
"কলিকাতার বিনতি কোণ 30°N—অর্থাৎ, কলিকাতায় কোন চুম্বক শলাকাকে ভারকেন্দ্র হইতে ঝুলাইলে উহার উত্তর-মেরু নীচের দিকে ঝুঁকিবে এবং চুম্বক-শলাকার অক্ষ অনুভূমিক তলের

সহিত 30° কোণ উৎপন্ন করিবে। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে বিনতি কোণ বিভিন্ন; পৃথিবীর চৌম্বক মেরুতে বিনতি-কোণ 90° এবং চৌম্বক বিষুবরেখায় বিনতি কোণ 0°.

(2) **চ্যুতি কোণ** (Angle of declination): পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে, পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর-মেরু ও ভৌগোলিক উত্তর-মেরু অথবা চৌম্বক দক্ষিণ-মরু ও ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরু একই জায়গায় অবস্থিত নয়। উহারা পরস্পর হইতে কিছু দূরে অবস্থিত। ফলে পৃথিবীর যে-কোন চৌম্বক মধ্যতল (magnetic meridian) এবং ভৌগোলিক মধ্যতল (geographical meridian) পরস্পর মিশিয়া না যাইতেও পারে। প্রকৃতপক্ষে, **কোন স্থানের চ্যুতি-কোণ বলিতে ঐ স্থানে ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতলের ভিতর যে-কোণ উৎপন্ন হইবে তাহাই বুঝায়।** যেমন, কোন স্থানের চ্যুতি কোণ 1°15′E বলিলে বুঝাইবে, ঐ স্থানে ঐ দুই মধ্যতলের ভিতরে যে-কোণ উৎপন্ন হইতেছে তাহা 1°15′ এবং বাধাহীন ভাবে অনুভূমিকতলে ঘুরিতে পারে এইরূপ একটি চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরু উক্ত কোণ উৎপন্ন করিয়া ভৌগোলিক মধ্যরেখা হইতে পূর্বদিকে সরিয়া থাকিবে। যে-স্থানে চৌম্বক ও ভৌগোলিক মধ্যতল পরস্পরের সহিত মিশিয়া যাইবে তথায় চ্যুতিকোণ শূন্য। সুতরাং কোন স্থানের চ্যুতি-কোণ নির্ণয় করিতে হইলে ঐ স্থানের ভৌগোলিক এবং চৌম্বক মধ্য-রেখার অবস্থান নির্ণয় করিতে হইবে।

(3) **ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ** (Horizontal component of earth's magnetic intensity): বিনতি কোণ প্রসঙ্গে বলা হইয়াছে, উল্লম্ব তলে ঘুরিতে পারে এরূপ একটি চুম্বক-শলাকা পৃথিবীর কোন স্থানে অনুভূমিক রেখার সহিত কোণ করিয়া অবস্থান করে (চিত্র 4·4 দেখ)। ইহা হইতে বোঝা যায়, ঐ স্থানে পৃথিবীর মোট চৌম্বক-প্রাবল্য (total magnetic intensity) ঐ অভিমুখে ক্রিয়া করে। এই প্রাবল্যকে অনুভূমিক ও উল্লম্ব অংশে বিভাজন করিলে অনুভূমিক উপাংশকে বলা হয় ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ।

সাধারণত গবেষণাগারে আমরা যে সকল চুম্বকশলাকা ব্যবহার করি তাহাদের এরূপভাবে কীলকাবদ্ধ (pivoted) করা থাকে যে উহারা কেবলমাত্র অনুভূমিকতলে ঘোরাফেরা করিতে পারে—উল্লম্বতলে পারে না। ফলে, পৃথিবীর চৌম্বক-প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশই উহাদের উপর ক্রিয়া করে—উল্লম্ব উপাংশের কোন ক্রিয়া নাই। তাই, আমাদের শুধু অনুভূমিক উপাংশের মান জানা প্রয়োজন হয়। যেমন, কলিকাতার ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ 0·3725 C.G.S. বলিলে বুঝাইবে, কলিকাতার মোট ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যকে অনুভূমিক ও উল্লম্ব অংশে বিভাজন করিলে অনুভূমিক উপাংশের মান হইবে 0·3725 C.G.S.।



চিত্র 4·5

4·5. নং চিত্রে ভৌগোলিক মধ্যতল এবং চৌম্বক মধ্যতল দেখানো হইয়াছে। ঐ দুই তলের

অন্তর্বর্তী কোণ δ ঐ স্থানের চ্যুতি কোণ। কোন চুম্বকশলাকা যদি চৌম্বক মধ্যতলে থাকিয়া অনুভূমিকের সহিত θ কোণ করে, তবে ঐ কোণ হইবে ঐ স্থানের বিনতি কোণ। তাছাড়া ঐ স্থানের ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য I শলাকার অক্ষ বরাবর ক্রিয়া করিবে। এখন, ঐ প্রাবল্যকে অনুভূমিক এবং উল্লম্ব দিকে বিভাজন করিলে আমরা অনুভূমিক উপাংশস্বরূপ পাই $H=I\cos\theta$ এবং উল্লম্ব উপাংশ স্বরূপ পাই $V=I\sin\theta$। প্রথমটিকে বলা হয় ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ এবং দ্বিতীয়টিকে উল্লম্ব উপাংশ।

$$\therefore \frac{V}{H}=\frac{I.\sin\theta}{I.\cos\theta}=\tan\theta \text{ ; আবার, } H^2+V^2=I^2(\sin^2\theta+\cos^2\theta)=I^2$$

$$\therefore I=\sqrt{H^2+V^2}$$

Example : কোন স্থানে বিনতি কোণ 45° এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য 0·4 ওরস্টেড। ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ কত?

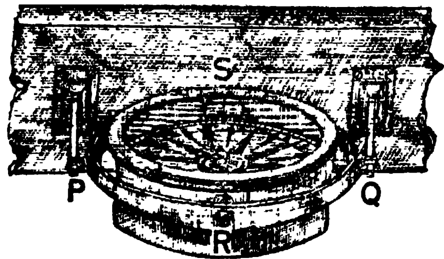
Ans. আমরা জানি $\frac{V}{H}=\tan\theta=\tan 45°=1$, কাজেই $V=H$

আবার, $I=\sqrt{H^2+V^2}=\sqrt{2}.H \therefore 0{\cdot}4=\sqrt{2}.H$

অথবা $H=\frac{0{\cdot}4}{\sqrt{2}}=0{\cdot}28$ ওরস্টেড অতএব, $V=H=0{\cdot}28$ ওরস্টেড

4·5 **নৌ-কম্পাস ঃ (Mariner's compass) ঃ** পূর্বেই বলা হইয়াছে, চুম্বকের একটি ধর্ম হইতেছে দিক নির্দেশ করা। চুম্বকের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া দিগ্‌দর্শন যন্ত্র বা কম্পাস তৈরী করা হইয়াছে। সাধারণত সমুদ্রবক্ষে নাবিকেরা যে ধরনের কম্পাস ব্যবহার করেন তাহাকে নৌ-কম্পাস বলে। পারাপারহীন সমুদ্রবক্ষে দিক্-নির্দেশের জন্য নাবিকদের নিকট ইহা একটি অপরিহার্য যন্ত্র।

4·6. নং চিত্রে একটি নৌ-কম্পাসের ছবি দেখানো হইয়াছে। এই যন্ত্রে একটি গোল চাকতির নীচে এক বা একাধিক চুম্বক-শলাকা আট্‌কানো থাকে। চুম্বক-শলাকার ঘূর্ণনের সঙ্গে চাক্‌তিরও ঘূর্ণন হয়। চাকতির উপরের পরিধি ব্যাসার্ধ দ্বারা বত্রিশ ভাগে ভাগ করা। এই ভাগগুলিকে কম্পাসের বিন্দু (points) বলা হয়। এই ভাগগুলির যে ভাগ চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুর ঠিক উপরে অবস্থিত তথায় একটি মুকুট (crown) চিহ্নিত থাকে। ইহা সর্বদা উত্তর-মেরু নির্দেশ করিবে। চাক্‌তি ও চুম্বক-শলাকা একটি অ্যাগেট টুকরার সাহায্যে তীক্ষ্ণাগ্র ধাতব কীলকের (pivot) উপর অনুভূমিক অবস্থায় রক্ষিত। এই অ্যাগেট টুকরা চুম্বক-শলাকার কেন্দ্রের সহিত সংযুক্ত।



চিত্র 4·6

জাহাজের দোলানী সত্ত্বেও চুম্বক-শলাকা যাহাতে সর্বদা অনুভূমিক তলে থাকিতে পারে সেইজন্য চাকতি ও চুম্বক-শলাকা একটি গোল বাক্সে বসাইয়া বাক্স একটি আংটার সহিত দুইটি বিপরীত বিন্দুতে (R ও S) আঁটা থাকে। অর্থাৎ, বাক্স যেন RS রেখাকে অক্ষ করিয়া দুলিতে পারে। আবার আংটাটি একটি কাঠের ফ্রেমের সহিত P ও Q বিন্দুতে আটকানো যাহাতে আংটা PQ রেখাকে অক্ষ করিয়া দুলিতে পারে। PQ ও RS রেখাদ্বয় পরস্পর সমকোণে অবস্থিত বলিয়া সমুদ্রের দোলানী সত্ত্বেও চুম্বক-শলাকা সর্বদা অনুভূমিক তলে থাকিবে। এই ব্যবস্থাকে বলা হয় **গিমবল** (gimbal) ব্যবস্থা।

কম্পাস চাকতির মুকুট-চিহ্নের অবস্থান লক্ষ্য করিয়া নাবিকেরা এই যন্ত্রের সাহায্যে দিক নির্দেশ করিতে পারে।

4·6. <u>চৌম্বক মানচিত্র</u> (Magnetic maps)ঃ পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের উপাদানগুলি নির্ণয় করিলে দেখা যায় যে বিভিন্ন স্থানে উহাদের মান বিভিন্ন। তাছাড়া, ইহাও লক্ষ্য করা যায় যে এক একটি উপাদানের মান কয়েকটি জায়গায় সমান। বিভিন্ন স্থানের ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের এই বৈশিষ্ট্যগুলি প্রদর্শনের জন্য চৌম্বক মানচিত্র প্রস্তুত করা হয়। ইহা উল্লেখযোগ্য যে, উপাদানগুলির মান সময়ভেদে আস্তে আস্তে পরিবর্তিত হয়। ফলে, বিভিন্ন সময়ে নতুন নতুন মানচিত্র তৈরী করিবার প্রয়োজন হয়। নাবিকদের পক্ষে এই মানচিত্র বিশেষভাবে প্রয়োজনীয়। 4·7 নং চিত্রে ঐরূপ একটি মানচিত্র দেখানো হইয়াছে। এই ধরনের মানচিত্রে নিম্নলিখিত রেখাগুলি থাকে।

(i) **সমবিচ্যুতি রেখা**ঃ (Isogonic lines)ঃ ভূপৃষ্ঠের যে-সকল স্থানের বিচ্যুতি সমান তাহাদের যুক্ত করিয়া যে-রেখা টানা হয় তাহাকে সমবিচ্যুতি রেখা বলে। 4·7 নং চিত্রে সরু টানা রেখাগুলি সমবিচ্যুতি রেখা।

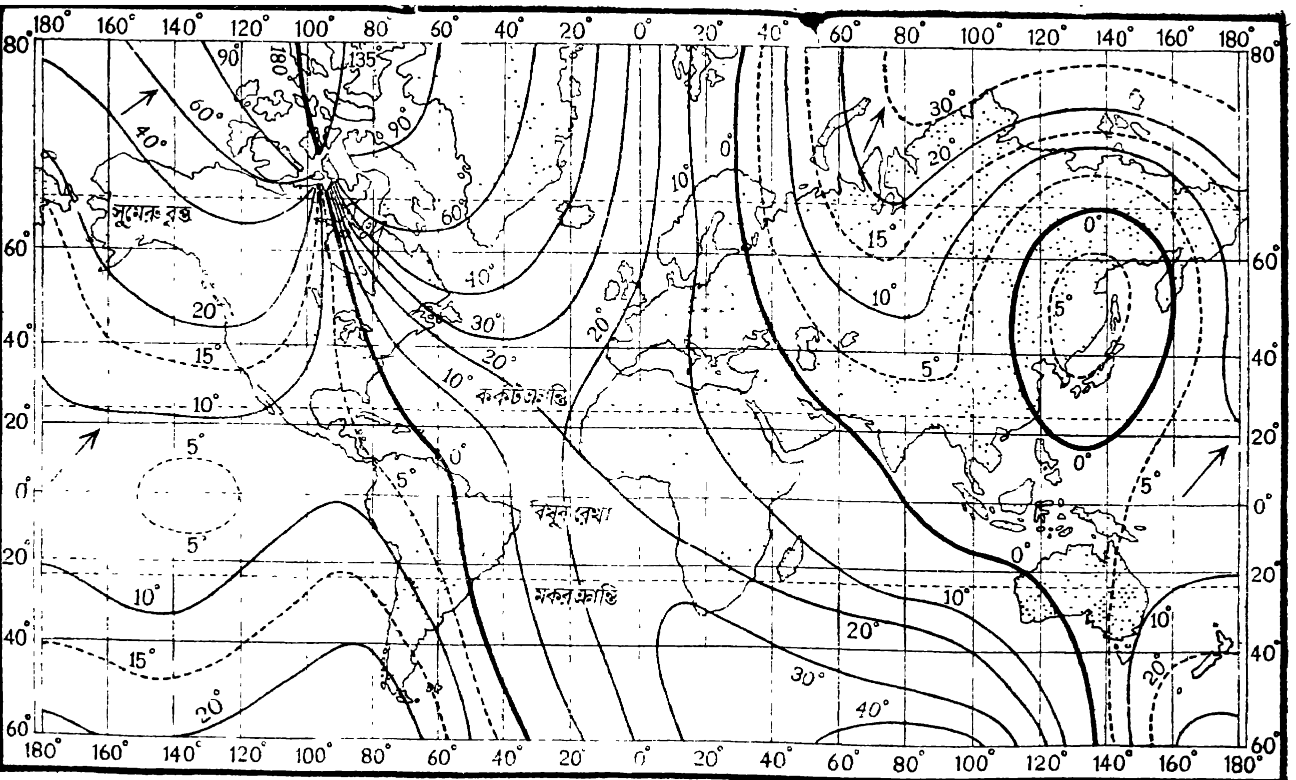
(ii) **অবিচ্যুতি রেখা** (Agonic lines)ঃ যে সকল স্থানের বিচ্যুতি শূন্য সেই সকল স্থানের ভিতর দিয়া অঙ্কিত বিশেষ রেখাকে বলা হয় অবিচ্যুতি রেখা। 4·7 নং চিত্রে মোটা টানা রেখাগুলি যাহাদের পাশে 0° লেখা আছে—তাহারা অবিচ্যুতি রেখা।

(iii) **সমবিনতি রেখা** (Isoclinic lines)ঃ ভূপৃষ্ঠের যে-সকল স্থানের বিনতি সমান তাহাদের সংযুক্ত করিয়া রেখা টানিলে বলা হয় সমবিনতি রেখা। 4·7 নং চিত্রে কাটা কাটা লাইন দ্বারা সমবিনতি রেখা দেখানো হইয়াছে।

(iv) **অ-বিনতি রেখা** (Aclinic lines)ঃ যে-সকল স্থানের বিনতি 0° তাহাদের সংযোগকারী রেখাকে অ-বিনতি রেখা বলে। চৌম্বক নিরক্ষরেখা একটি অ-বিনতি রেখা।

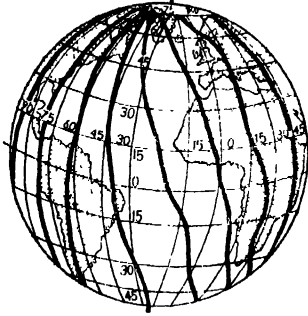
(v) **সমানুভূমিক রেখা** (Isodynamic lines)ঃ ভূপৃষ্ঠের যে সকল স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ সমান তাহাদের সংযোগকারী রেখার নাম সমানুভূমিক রেখা।

(vi) **ডুপেরি-র রেখা** (Duperrey's lines)ঃ চৌম্বক মধ্যরেখা নির্দেশক রেখাকে বলা হয় ডুপেরি-র রেখা। 4·8 নং চিত্রে ঐরূপ রেখা দেখানো হইয়াছে। বলা বাহুল্য, এই রেখাগুলি সব উত্তর ও দক্ষিণ মেরুতে মিলিত হয়।



চিত্র 4·7

4·7. **চৌম্বক ঝঞ্ঝা** (Magnetic storm) ঃ কখন কখন দেখা যায় যে ভূপৃষ্ঠের বিশাল অংশ জুড়িয়া ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের উপাদানগুলির সহসা তীব্র পরিবর্তন হইতেছে। এই ধরনের পরিবর্তন এত আকস্মিক যে পূর্ব হইতে ইহার সম্বন্ধে কোনরূপ ভবিষ্যদ্বাণী করা সম্ভব নয়। কিছুকাল পরে অবশ্য উপাদানগুলির মান পূর্বের স্বাভাবিক মানে ফিরিয়া আসে। এই ঘটনাকে **চৌম্বক ঝঞ্ঝা** বলে। এই সময়ে পৃথিবীর প্রায় সকল চৌম্বক শলাকার আচরণে অস্বাভাবিকতা লক্ষ্য করা যায়। দেখা গিয়াছে বিভিন্ন প্রাকৃতিক বিপর্যয় যেমন, আগ্নেয়গিরি হইতে অগ্ন্যুৎপাত, ভূমিকম্প, মেরু-জ্যোতির (aurora borealis) আবির্ভাব, সৌরকলঙ্ক (sunspot) প্রভৃতি চৌম্বক ঝঞ্ঝার সৃষ্টি করে। ঐ সকল বিপর্যয়ের সময়—বিশেষ করিয়া মেরু-জ্যোতি ও সৌর-কলঙ্কের সময় প্রচুর পরিমাণ তড়িতাহিত কণিকা সৃষ্টি হয় এবং উহারা প্রচণ্ড বেগে পৃথিবীর দিকে ছুটিয়া আসে। ইহাতে ভূচৌম্বক উপাদানগুলির আকস্মিক তীব্র পরিবর্তন দেখা দেয়। চৌম্বক ঝঞ্ঝার সময় বেতার সংযোগ, টেলিগ্রাম, টেলিফোন প্রভৃতির কার্যে বিঘ্ন উপস্থিত হয়।



চিত্র 4·8

বিভিন্ন স্থানের ভূ-চৌম্বক উপাদানের মান

স্থান	ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক অংশ	চ্যুতিকোণ	বিনতি কোণ
কলিকাতা	0·372 Oersted	44′ E	30° N
দিল্লী	0·340 ,,	2°2′ E	40°56′ ,,
বোম্বাই	0·72 ,,	32′ E	25° ,,
মাদ্রাজ	0·369 ,,	10′ W	34°37′ ,,
লণ্ডন	0·180 ,,	10° W	67° ,,

Exercises

1. পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক—ইহা বিশ্বাস করিবার স্বপক্ষে যুক্তি কি? কলিকাতার বিনতি কোণ 30°N—ইহা কি বুঝায়?

2. একটি সরু, সুষম কাঠের দণ্ডকে উহার ভার-কেন্দ্র হইতে সুতা দ্বারা ঝুলাইলে অনুভূমিক থাকে কিন্তু একটি সরু, সুষম চুম্বক-দণ্ডকে ঐরূপভাবে ঝুলাইলে অনুভূমিক রেখার সহিত আনত হইয়া থাকে। ইহার কারণ কি? অনুভূমিক রেখার সহিত দণ্ড-চুম্বক যে-কোণ উৎপন্ন করে,

সেই কোণের তাৎপর্য কি? দণ্ড-চুম্বকের উক্ত অবস্থান হইতে ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের কথা কি জানিতে পারা যায়?

3. ভূ-চুম্বকত্বের তিনটি উপাদান কি কি? ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রকৃতি বর্ণনা কর। কোন্ কোন্ স্থানে বিনতি কোণ 0° এবং 90°? [*H. S. Exam. 1960*]

4. নৌ-কম্পাসের বিবরণ লেখ ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। উহা কি প্রকৃত উত্তর দিক্ প্রদর্শন করে? [*H. S. Exam.* (*Comp*) *1966*]

5. অস্ট্রেলিয়ায় লোহার বেড়ার খুঁটিগুলির উপরের প্রান্তে সর্বদা উত্তর-মেরুর উদ্ভব হয় কেন? 'ম্যাগনেটিক মাইন' কাহাকে বলে? [*H. S. Exam. 1972*]

6. পৃথিবীর চতুর্দিকে ভূচৌম্বক বলরেখার প্রকৃতি সাধারণভাবে প্রদর্শন করিয়া একটি চিত্র অঙ্কন কর। একটি দণ্ড-চুম্বকের বলরেখা চুম্বকের উত্তর-মেরু হইতে নির্গত হইয়া বায়ু-মধ্য দিয়া দক্ষিণ মেরুতে শেষ হয় বলিয়া ধরা হয়। কিন্তু ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের বেলাতে আমরা দক্ষিণ মেরু হইতে উত্তর মেরুর দিকে বলরেখা অঙ্কন করি। এই পার্থক্যের কারণ কি? [*H. S.* (*Comp*) *1968*]

7. 'কলিকাতায় ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ 0·3725 C.G.S.—এই বাক্যের যথাযথ ব্যাখ্যা লেখ। চৌম্বক পরিমাপের ক্ষেত্রে শুধু মাত্র অনুভূমিক উপাংশের মান জানিবার প্রয়োজন হয় কেন?

8. কোনও স্থানে বিনতি কোণ 45° এবং ভূচৌম্বক প্রাবল্য 0·8 হইলে ঐ স্থানে ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ কত? [Ans. 0·564]

স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞান
(STATICAL ELECTRICITY)

প্রথম পরিচ্ছেদ

তড়িতাহিতকরণের সাধারণ বিষয়াদি ও তড়িতাবেশ

(General facts of electrification and electrostatic induction)

1·1 **সূচনা** : খ্রীস্টপূর্ব 600 অব্দে প্রাচীন গ্রীক্ পণ্ডিতগণ লক্ষ্য করেন যে, অ্যামবার (amber) নামক একটি পদার্থকে (ইহা একপ্রকার পাইন গাছের শক্ত আঁঠা) রেশমী কাপড় দিয়া ঘষিলে উহা ছোট ছোট কাগজের টুকরা বা অন্য কোন হাল্কা জিনিসকে আকর্ষণ করিতে পারে। তোমরা হয়তো অনেকে লক্ষ্য করিয়া থাকিবে, শীতকালে সেলুলয়েড বা গাটাপার্চার চিরুনি দিয়া চুল আঁচড়াইবার পর ঐ চিরুনি ছোট ছোট কাগজের টুক্‌রাকে আকর্ষণ করে। কিন্তু গ্রীক্ পণ্ডিতগণের অ্যামবার সংক্রান্ত ঐ ঘটনা লক্ষ্য করিবার পর আর কেহ এ সম্বন্ধে বিশেষ আগ্রহ প্রকাশ করেন নাই। পরে 1600 খ্রীস্টাব্দে ডাঃ গিলবার্ট এ সম্বন্ধে বিস্তারিত অনুসন্ধান করেন এবং দেখিতে পান, অ্যামবার ছাড়া আরও অনেক পদার্থে ঐ গুণ বর্তমান। গ্রীক্‌ভাষায় অ্যামবারকে ইলেক্‌ট্রন (electron) বলে বলিয়া সম্ভবত ডাঃ গিলবার্ট এই ব্যাপারকে **তড়িতাহিতকরণ** (electrification) নাম দেন। রেশমদ্বারা ঘষা অ্যামবার-এর ন্যায় যে বস্তু অন্যান্য জিনিসকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা রাখে তাহাকে বলা হয় **তড়িতাহিত** (electrified) বস্তু। এই তড়িৎ বস্তুতে আবদ্ধ থাকে এবং চলাচল করিতে পারে না বলিয়া এই ধরনের তড়িৎকে বলা হয় **স্থির-তড়িৎ** (static electricity)।

1·2 **পরিবাহী** (Conductor) ও **অপরিবাহী** (Non-conductor) বা **অন্তরক** (Insulator) : একটি পিতলের দণ্ডকে হাতে ধরিয়া রেশম, ফ্লানেল বা বিড়ালের চামড়া—যে কোন বস্তু দিয়া ঘষিয়া ছোট ছোট কাগজের টুকরার সামনে ধরিলে কোন আকর্ষণই লক্ষিত হইবে না, অর্থাৎ দণ্ড তড়িতাহিত হইবে না। অথচ উক্ত ঘর্ষণকারী পদার্থগুলি দ্বারা কাচ, গালা, এবোনাইট প্রভৃতি বস্তুকে ঘষিয়া সহজেই তড়িতাহিত করা যায়। এই ঘটনা লক্ষ্য করিয়া প্রাচীন বিজ্ঞানীগণ মনে করিতেন যে, কোন কোন পদার্থ আছে যাহাদের কিছুতেই তড়িতাহিত করা যায় না। কিন্তু এই ধারণা ঠিক নহে। প্রকৃতপক্ষে যে কোন বস্তুকেই উপযুক্ত ঘর্ষণকারীর সাহায্যে তড়িতাহিত করা যায়। তবে পিতলের দণ্ডে তড়িৎ আসিল না কেন?

এই প্রশ্নের উত্তর এই যে, পিতলের দণ্ডে তড়িতের সৃষ্টি হইয়াছিল; কিন্তু পিতলের ভিতর দিয়া এবং মানুষের দেহ দিয়া তড়িৎ সহজে চলাচল করে বলিয়া দণ্ড হাত দিয়া ধরিয়া রাখিলে ঐ তড়িৎ মানুষের দেহ দিয়া তৎক্ষণাৎ পৃথিবীতে চলিয়া যায়। কাজেই দণ্ডে তড়িতের প্রকাশ হয় না। যদি পিতলের দণ্ড হাতে না ধরিয়া একটি কাঠের হাতলের সাহায্যে ধরা যায় তবে দেখা যাইবে, দণ্ড তড়িতাহিত হইয়াছে। এস্থলে কাঠের ভিতর দিয়া তড়িৎ সহজে চলাচল করিতে পারে না বলিয়া তড়িৎ দণ্ডে আবদ্ধ থাকে। অতএব আমরা এই সিদ্ধান্তে আসিতে পারি যে, কোন কোন পদার্থ আছে যাহার ভিতর দিয়া তড়িৎ সহজে চলাচল করিতে পারে এবং কোন কোন পদার্থের

ভিতর দিয়া সহজে চলাচল করিতে পারে না। প্রথমোক্ত পদার্থকে তড়িতের **পরিবাহী** (conductor) বলে এবং শেষোক্ত পদার্থকে তড়িতের **অপরিবাহী** (non-conductor বা **অন্তরক** (insulator) বলা হয়।

সাধারণত সব ধাতুই ভাল তড়িৎ পরিবাহী। ইহাদের ভিতর আবার তামা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম খুব ভাল পরিবাহী। তোমরা লক্ষ্য করিয়া থাকিবে, বৈদ্যুতিক তার তামার তৈরী হয়। আজকাল অবশ্য বৈদ্যুতিক তার অ্যালুমিনিয়াম দিয়াও তৈরী হইতেছে। ধাতব পদার্থ ছাড়া মাটি, নরদেহ, কার্বন, কয়লা, পারদ প্রভৃতি তড়িৎ-পরিবাহীর উদাহরণ।

শুষ্ক বায়ু, কাচ, কাগজ, মোম, কাঠ, এবোনাইট, পোসিলেন, বেকেলাইট প্রভৃতি অপরিবাহী বা অন্তরক পদার্থ; তোমরা হয়ত দেখিয়াছ টেলিগ্রাফ, টেলিফোনের তার বা বিদ্যুৎ-সরবরাহ ব্যবস্থার তার খাটাইবার সময় ইলেকট্রিক পোস্টের সহিত তার সরাসরি সংযুক্ত করা হয় না; পোসিলেন বাটির (porcelain cups) মাধ্যমে খাটানো হয়। পোস্টের সহিত সংযুক্ত থাকিলে পোস্ট দিয়া সর্বদা মাটিতে তড়িৎ-ক্ষরণ (leakage of electricity) হইবে এবং ঐ পোস্ট কোন লোক স্পর্শ করিলে তৎক্ষণাৎ সে তড়িৎপৃষ্ট হইবে। পোসিলেন তড়িৎ-অন্তরক; কাজেই পোসিলেন বাটির মাধ্যমে তার খাটাইলে পোস্ট দিয়া তড়িৎ-ক্ষরণ হইবে না এবং ঐরূপ কোন বিপদের আশঙ্কা থাকিবে না। পরীক্ষাগারে তড়িৎ-সংক্রান্ত কাজে যে সকল সংযোগী তার (connecting wires) ব্যবহার করা হয় তাহা রেশম বা সুতীর কাপড় দ্বারা আবৃত রাখা হয়। উহা অপরিবাহী বলিয়া তারে তারে ঠেকিয়া গেলেও কাজের বিঘ্ন হয় না। এই ধরনের তারকে অন্তরিত তার (insulated wire) বলা হয়।

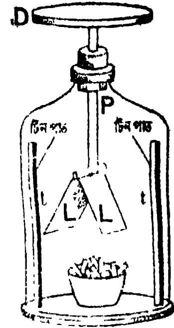
ইহা মনে রাখিতে হইবে, **কোন পদার্থই সম্পূর্ণ অপরিবাহী নয়।** উপরে যে অপরিবাহী পদার্থের উদাহরণ দেওয়া হইল তাহাদের ভিতর দিয়া তড়িৎ তুলনামূলকভাবে খুব কম চলাচল করিতে পারে বলিয়াই অপরিবাহী বলা হয়।

[**দ্রষ্টব্য ঃ** জলীয়-বাষ্প তড়িতের পরিবাহী বলিয়া স্থির তড়িতের কোন পরীক্ষায় পরীক্ষাধীন বস্তুগুলিতে জলীয় বাষ্প থাকিলে তড়িৎ সহজেই চলাচল করিতে পারিবে এবং বস্তুগুলিতে তড়িৎ আবদ্ধ থাকিবে না। সুতরাং পরীক্ষা সাফল্যমণ্ডিত করিতে হইলে বস্তুগুলি শুষ্ক রাখিতে হইবে। বর্ষাকালে আবহাওয়া সিক্ত থাকে বলিয়া স্থির তড়িতের পরীক্ষা ঐ সময়ে ভাল হয় না; শীতকালে আবহাওয়া শুষ্ক থাকে, পরীক্ষাও খুব সন্তোষজনক হয়।]

1·3 **তড়িৎ আধানের অস্তিত্ব নির্ণয়ের যন্ত্র** (Instrument for detection of electric charge) ঃ কোন বস্তুতে তড়িৎ আধানের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করিবার উপযুক্ত যন্ত্র হইল স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ।

স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণ ঃ 1·1 নং চিত্রে এই যন্ত্রের ছবি দেখানো হইল। দুইটি হাল্কা ও পাতলা সোনার পাত (L.L) একটি ধাতব দণ্ড P-এর নিম্নপ্রান্তে সংযুক্ত। দণ্ডটি সাধারণত পিতলের তৈরী হয়। পাত দুইটি সোনার না হইয়া অ্যালুমিনিয়াম বা অন্য কোন হাল্কা ধাতুরও হইতে পারে। ধাতব দণ্ডটি একটি কাচপাত্রের ভিতর রক্ষিত এবং ইহা এবোনাইট

বা অনুরূপ কোন অন্তরক পদার্থনির্মিত ছিপির ভিতর দিয়া ঢুকানো। দণ্ডের উপর প্রান্তে এবং কাচপাত্রের বাহিরে একটি ধাতব চাক্‌তি D আটকানো। কোন কোন যন্ত্রে চাক্‌তির পরিবর্তে বর্তুল (knob) থাকে। স্বর্ণপত্র দুইটি কাচপাত্রের ভিতর থাকায় বায়ুপ্রবাহ কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইবে না। দুইটি টিনের পাত (t, t) স্বর্ণপত্রদ্বয়ের সামনে এবং কাচপাত্রের ভিতরের গায়ে আটকানো থাকে। কাচপাত্রস্থ বায়ু যাহাতে সর্বদা শুষ্ক থাকে সেইজন্য ইহার ভিতর একটা বাটিতে কিছু ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড রাখা থাকে। বায়ু ভিজা থাকিলে স্বর্ণপত্রের কার্যে বিঘ্ন উপস্থিত হয়।



চিত্র 1·1

পরিবহন দ্বারা তড়িৎবীক্ষণকে আহিতকরণ (Charging the electroscope by conduction)**:** পরিবহনদ্বারা এই যন্ত্রকে আহিত করিতে হইলে একটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর সাহায্য লইতে হইবে। একটি কাচদণ্ডকে রেশম দিয়া ঘষিলে কাচদণ্ডে ধনাত্মক তড়িতের উদ্ভব হয়। ঐ কাচদণ্ড তড়িৎ বীক্ষণের চাক্‌তির গা বরাবর স্পর্শ করাইলে দণ্ড হইতে খানিকটা তড়িতাধান যন্ত্রে ছড়াইয়া পড়িবে। ফলে সোনার পাত দুইটি একই রকম তড়িৎ পাইয়া পরস্পরকে বিকর্ষণ করিবে এবং ফাঁক হইয়া পড়িবে। তখন দণ্ড সরাইয়া লইলে যদি দেখা যায় যে পত্র দুইটি বিস্ফারিত অবস্থায় থাকিল না, তবে উপরোক্ত প্রক্রিয়া আরও কয়েকবার করিতে হইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না পাতা দুইটি ফাঁকা হইয়া থাকে। এই অবস্থায় বলা যায়, যন্ত্রকে পরিবহন দ্বারা ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা হইল।

ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করিতে হইলে পশমদ্বারা ঘষিত এবোনাইট দণ্ডকে অনুরূপভাবে চাক্‌তি স্পর্শ করাইলে স্বর্ণপত্র দুইটি ঋণাত্মক তড়িৎ পাইয়া ফাঁক হইয়া যাইবে। কারণ, পশম দ্বারা এবোনাইট ঘষিলে এবোনাইটে ঋণাত্মক তড়িতের উদ্ভব হয়।

এই প্রণালীতে তড়িৎবীক্ষণকে আহিতকরণের একটি অসুবিধা আছে। যদি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুতে বেশী তড়িৎ থাকে তবে উহাকে D-চাক্‌তির সহিত স্পর্শ করানো মাত্র স্বর্ণপত্রদ্বয়ের এত বেশী বিস্ফারণ হইবে যে উহারা P-দণ্ড হইতে খসিয়া পড়িতে পারে। এই কারণে পরিবহন দ্বারা এই যন্ত্রকে আহিতকরণে যথেষ্ট সাবধানতা অবলম্বন করিতে হয়। তড়িৎবীক্ষণকে আহিতকরণে এই পদ্ধতি মোটেই সুবিধাজনক নহে।)

তড়িৎবীক্ষণের ব্যবহার : প্রথমত কোন বস্তু আহিত কিনা তাহা নির্ণয় করিতে গেলে বস্তুকে তড়িৎবিহীন (uncharged) তড়িৎবীক্ষণের চাক্‌তি D-এর নিকট আনিতে হইবে। বস্তুটি আহিত হইলে তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্র দুইটি ফাঁক হইয়া যাইবে এবং কতটা ফাঁক হইল তাহা হইতে বস্তুতে আধানের তীব্রতা (intensity) সম্বন্ধে মোটামুটি ধারণা করা যাইতে পারে। যদি বস্তুটি আহিত না হয় তবে উহাকে চাক্‌তির কাছে আনিলে স্বর্ণপত্রদ্বয় ফাঁক হইবে না।

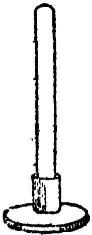
দ্বিতীয়ত, তড়িৎগ্রস্ত বস্তুতে কি ধরনের তড়িৎ বর্তমান তাহা জানিতে হইলে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রকে পূর্বে ধনাত্মক কিংবা ঋণাত্মক তড়িৎ কর্তৃক আহিত করিয়া লইতে হইবে। ধরা যাউক,

যন্ত্রকে ধনাত্মক তড়িৎ কর্তৃক আহিত করা হইল। এই অবস্থায় স্বর্ণপত্র দুইটি ধনাত্মক তড়িৎ পাইয়া ফাঁক হইয়া থাকিবে। এখন পরীক্ষাধীন বস্তুকে D-চাক্‌তির কাছে আনিলে যদি পত্র দুইটির ফাঁক আরও বাড়িয়া যায় তবে বুঝিতে হইবে বস্তুতে ধনাত্মক তড়িৎ বর্তমান। আর যদি ফাঁক কিছু কমিয়া যায়, তবে বস্তুতে বিপরীত অর্থাৎ ঋণাত্মক তড়িৎ বর্তমান। ঠিক অনুরূপভাবে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে যদি পূর্ব হইতে ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করা হয় এবং পরীক্ষাধীন বস্তুকে D-চাক্‌তির কাছে আনিলে যদি পত্র দুইটির ফাঁক আরও বাড়িয়া যায় তবে বুঝিতে হইবে বস্তুতে ঋণাত্মক তড়িৎ বর্তমান। ফাঁক যদি কিছু হ্রাস পায়, তবে বস্তুতে বিপরীত ধনাত্মক তড়িৎ বর্তমান। অর্থাৎ আমরা একথা বলিতে পারি যে, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের ফাঁক বৃদ্ধি পাইলে তড়িৎবীক্ষণ ও পরীক্ষাধীন বস্তুতে একই ধরনের তড়িৎ বর্তমান।

কিন্তু স্বর্ণপত্রদ্বয়ের ফাঁক হ্রাস পাইলে আমরা সর্বদা একথা বলিতে পারি না যে তড়িৎবীক্ষণ ও পরীক্ষাধীন বস্তুতে বিপরীত ধরনের তড়িৎ বর্তমান। কারণ, একটি নিস্তড়িৎ বস্তুকে তড়িৎগ্রস্ত তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের চাক্‌তির নিকটে আনিলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের ফাঁক হ্রাস পাইবে। অতএব, পরীক্ষাধীন বস্তুর তড়িতের প্রকৃতি নির্ণয়ের সর্বোৎকৃষ্ট উপায় হইতেছে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের পত্রদ্বয়ের ফাঁক-বৃদ্ধি সৃষ্টি করা।

তড়িৎবীক্ষণের তড়িৎ	পরীক্ষাধীন বস্তুর তড়িৎ	পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ
−	−	বিস্ফারণ বৃদ্ধি
+	+	,, ,,
−	+	,, হ্রাস
+	−	,, ,,
+ অথবা −	নিস্তড়িৎ	,, ,,

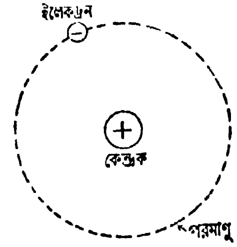
1·4 আধান পরীক্ষক (Proof-plane)ঃ কোন বস্তু তড়িতাহিত কিনা তাহা পরীক্ষা করিবার জন্য বস্তু হইতে কিছু তড়িতাধান তড়িৎবীক্ষণে স্থানান্তরিত করিবার প্রয়োজন হয় এবং এই উদ্দেশ্যে আধান পরীক্ষকের সাহায্য লইতে হয়। 1·2 নং চিত্রে ইহার ছবি দেওয়া হইল। এই যন্ত্রে এবোনাইট, কাচ বা কোন অন্তরক পদার্থদ্বারা তৈয়ারী একটি হাতলের সঙ্গে ছোট একটি ধাতব চাক্‌তি সংযুক্ত থাকে। তড়িতাহিত বস্তুর সঙ্গে এই চাক্‌তি স্পর্শ করাইলে বস্তু হইতে চাক্‌তি সামান্য তড়িৎ গ্রহণ করিবে। পরে হাতল ধরিয়া এই চাক্‌তিকে তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনিলে তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ হইবে। এইরূপে এই যন্ত্রের সাহায্যে কোন বস্তু তড়িতাহিত কিনা তাহা পরীক্ষা করা যায়। সাধারণত কোন বস্তু খুব বেশী তড়িতাধান কর্তৃক আহিত হইলে বা বস্তুকে নাড়ানো অসুবিধাজনক হইলে আধান পরীক্ষকের সাহায্য লওয়া হয়।



চিত্র 1·1

1·5 **তড়িতের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব (Electronic theory of electricity) :** তড়িৎ-সম্পর্কীয় বিভিন্ন ঘটনা ব্যাখ্যা করিবার জন্য ভিন্ন ভিন্ন সময়ে কতগুলি তত্ত্ব প্রচলিত ছিল। এই সমস্ত তত্ত্বকে খণ্ডন করিয়া যে তত্ত্ব এখন প্রচলিত এবং যে তত্ত্ব আধুনিক বিজ্ঞান কর্তৃক গৃহীত তাহাকে ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব বলা হয়। এই তত্ত্বের প্রবর্তকদের মধ্যে অন্যতম হইলেন বিশিষ্ট পদার্থবিদ্ সার্ জে, জে, টম্সন।

এই পুস্তকের প্রথমভাগে পদার্থের গঠনতত্ত্ব সম্বন্ধে আলোচনাকালে বলা হইয়াছে প্রত্যেক বস্তু যে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাদ্বারা গঠিত তাহাদের বলা হয় পরমাণু। এই পরমাণু আরো ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণিকাদ্বারা গঠিত। তাহাদের নাম দেওয়া হইয়াছে **ইলেকট্রন**। ইলেকট্রন **ঋণাত্মক তড়িৎসম্পন্ন**। ইহা একটি ধনাত্মক তড়িৎসম্পন্ন **কেন্দ্রক** বা **নিউক্লীয়াস** (nucleus)-কে প্রদক্ষিণ করিয়া সতত ঘূর্ণমান (1·3 নং চিত্র)। নিউক্লীয়াস দুই রকম কণা-দ্বারা তৈয়ারী। ইহারা হইতেছে—ধনাত্মক তড়িৎসম্পন্ন কণা **প্রোটন** ও নিস্তড়িৎ কণা **নিউট্রন**। একটি প্রোটনের ধনাত্মক তড়িতের পরিমাণ একটি ইলেকট্রনের ঋণাত্মক তড়িতের পরিমাণের সমান এবং একটি গোটা পরমাণুতে সমসংখ্যক প্রোটন ও ইলেকট্রন থাকে।



চিত্র 1·3

সুতরাং একটি গোটা পরমাণুতে কোনরকম তড়িৎ-ধর্মের প্রকাশ পায় না। (বিভিন্ন মৌলের পরমাণুতে বিভিন্ন সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে এবং ইলেকট্রনগুলি নিউক্লীয়াসকে কেন্দ্র করিয়া বিভিন্ন খোলকে (shell) অবিরত ঘুরিতে থাকে। সরলতম মৌল হাইড্রোজেন পরমাণুতে আছে মাত্র একটি ইলেকট্রন এবং নিউক্লীয়াসে আছে মাত্র একটি প্রোটন। দ্বিতীয় মৌল হিলিয়ামে আছে দুইটি ইলেকট্রন এবং নিউক্লীয়াসে আছে দুইটি প্রোটন ও দুইটি নিউট্রন। সাধারণত মৌলের **পারমাণবিক সংখ্যা** (atomic number) উহার পরমাণুতে ইলেকট্রনের সংখ্যা জ্ঞাপন করে এবং **ভরসংখ্যা** (mass number) নিউক্লীয়াসে মোট কণিকার সংখ্যা জ্ঞাপন করে। যেমন কোন মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা Z হইলে উহার পরমাণুতে Z সংখ্যক ইলেকট্রন আছে এবং নিউক্লীয়াসেও Z সংখ্যক প্রোটন আছে। আবার ঐ পরমাণুর ভরসংখ্যা A হইলে নিউক্লীয়াসে প্রোটন ও নিউট্রনের সমবেত সংখ্যা হইবে A; অতএব, ঐ নিউক্লীয়াসে নিউট্রনের সংখ্যা $=A-Z$.)

যেহেতু গোটা পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা সমান, সেইহেতু গোটা পরমাণু নিস্তড়িৎ। নিউক্লীয়াসের কণিকাগুলি পরস্পরের সহিত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ—উহাদের হেরফের করা সহজ-সাধ্য নয়। কিন্তু ইলেকট্রনগুলির বেলায় তাহা নয়। সহজ প্রক্রিয়ায় ইলেকট্রনকে পরমাণু হইতে বিচ্ছিন্ন করা যায়। কোন রকমে পদার্থের পরমাণুতে ইলেকট্রন সংখ্যার আধিক্য বা হ্রাস করিতে পারিলে পরমাণু ঋণতড়িৎ বা ধনতড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়িবে। ইহাকেই সংক্ষেপে তড়িতের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব বলে। [বিশদ বিবরণের জন্য 'আধুনিক পদার্থ বিজ্ঞান' অংশ দ্রষ্টব্য]।

ইলেকট্রন প্রত্যেক পদার্থের পরমাণুতে বর্তমান। কাজেই ইহাকে পদার্থের প্রাথমিক উপাদান

(fundamental constituent) বলা যাইতে পারে। ইহা ওজনে সর্বাপেক্ষা হাল্‌কা এবং ইহার তড়িৎ-পরিমাণ সর্বাপেক্ষা কম। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, প্রতি ইলেক্‌ট্রনের ভর 9×10^{-28} গ্রাম এবং তড়িৎ-পরিমাণ $4{\cdot}8036 \times 10^{-10}$ ই. এস্‌ ইউ.-এর সমান। এই তড়িৎ-পরিমাণ সর্বাপেক্ষা কম হওয়াতে ইহাকে 'একক' (unit) ধরা হয়।

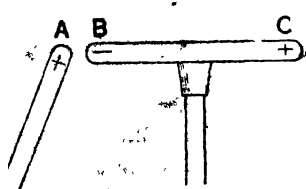
1·6. **ইলেক্‌ট্রনীয় তত্ত্ব দ্বারা ঘর্ষণজাত তড়িতের ব্যাখ্যা :** প্রত্যেক পরমাণুতে নিউক্লীয়াসস্থিত ধনাত্মক তড়িতাধানকে প্রশমিত করিবার জন্য যে কয়টি ইলেক্‌ট্রন প্রয়োজন তাহা থাকে। কিন্তু প্রত্যেক পরমাণুরই ঐ প্রয়োজনীয় ইলেক্‌ট্রন সংখ্যার অতিরিক্ত ইলেক্‌ট্রনের প্রতি একটা আসক্তি বা আকর্ষণ থাকে। প্রয়োজনীয় সংখ্যার অতিরিক্ত ইলেক্‌ট্রনের প্রতি এই আকর্ষণ বিভিন্ন পরমাণুতে বিভিন্ন। তাই, যখন দুইটি ভিন্ন বস্তুকে পরস্পরের সহিত সংস্পর্শে আনা হয় তখন, যে বস্তুতে উপরোক্ত আকর্ষণ বা আসক্তি বেশী, সেই বস্তু অপর বস্তু হইতে কাছাকাছি ইলেক্‌ট্রনগুলিকে আকর্ষণ করিয়া লইবে এবং ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইবে। এই ধরনের ঘটনা ঘটে যখন ইবোনাইট দণ্ডকে পশম দ্বারা ঘর্ষণ করা হয়। পশমের তুলনায় ইবোনাইটের ইলেকট্রন-আসক্তি বেশী বলিয়া ইবোনাইট দণ্ড ঋণাত্মক তড়িৎ পায় এবং পশমে ইলেক্‌ট্রনের ঘাটতি হওয়ায় উহা ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয়।

তেমনি রেশমদ্বারা কাচদণ্ড ঘষিলে কাচদণ্ড হইতে কিছুসংখ্যক ইলেক্‌ট্রন বিচ্যুত হইয়া রেশমে যুক্ত হয়; কারণ কাচদণ্ডের তুলনায় রেশমের ইলেক্‌ট্রন-আসক্তি বেশী। তাই, রেশম ঋণাত্মক তড়িতে এবং কাচদণ্ড ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয়।

আমরা জানি ঘর্ষণে উভয় প্রকার তড়িৎ সমপরিমাণে সৃষ্টি হয়। ইহাও উপরোক্ত ব্যাখ্যা হইতে সহজে বোঝা যায়, কারণ, একবস্তু যে-পরিমাণ ইলেক্‌ট্রন হারাইবে অন্য বস্তু ঠিক সেই পরিমাণ ইলেক্‌ট্রন লাভ করিবে। সুতরাং একই সঙ্গে দুই বস্তুতে বিপরীত তড়িতের সৃষ্টি হইবে এবং ইহার পরিমাণও সমান হইবে।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে ইলেক্‌ট্রনীয় তত্ত্ব অনুযায়ী অন্তরক ও পরিবাহীর ভিতর পার্থক্য এই যে অন্তরক পদার্থের পরমাণুতে ইলেক্‌ট্রনগুলি দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ এবং স্বাধীনভাবে ইচ্ছামত চলাচল করিতে পারে না; আর পরিবাহীর ইলেক্‌ট্রনগুলি স্বচ্ছন্দে এক পরমাণু হইতে অন্য পরমাণুতে চলাচল করিতে পারে।

1·7. **তড়িতাবেশ** (Electrostatic induction) **:** একটি তড়িতাহিত বস্তুকে একটি পরিবাহীর নিকট আনিয়া পরিবাহীকে তড়িৎগ্রস্ত করিবার পদ্ধতিকে তড়িতাবেশ বলা হয়।



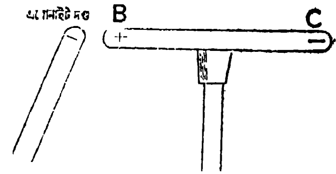
চিত্র 1·4

রেশম দিয়া ঘষিয়া একটি কাচদণ্ডকে (A) ধনাত্মক তড়িতে আহিত কর এবং একটি তড়িৎ-বিহীন পরিবাহীর (BC) নিকটে আন (1·4 নং চিত্র)। BC পরিবাহী A-দণ্ডের তড়িৎ কর্তৃক আবিষ্ট হইয়া আহিত বা তড়িৎগ্রস্ত হইবে। ইহা নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যাইবে।

একটি আধান-পরীক্ষক লইয়া পরিবাহীর B-প্রান্তে স্পর্শ করাও এবং পরে ঐ আধান-পরীক্ষককে একটি নিস্তড়িৎ স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের কাছে ধর। পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ লক্ষিত হইবে। অর্থাৎ, বোঝা গেল, B-প্রান্ত তড়িতাহিত হইয়াছে। ঐরূপ পরিবাহীর C-প্রান্ত পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, C-প্রান্তও তড়িতাহিত হইয়াছে। কিন্তু BC-পরিবাহীর মধ্যস্থলে আধান পরীক্ষক ছোঁয়াইয়া তড়িৎবীক্ষণের নিকট আনিলে স্বর্ণপত্রে কোন বিস্ফারণ দেখা যাইবে না। ইহা হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি, আবেশের ফলে BC পরিবাহীর উভয়প্রান্তই তড়িৎগ্রস্ত হইয়াছে কিন্তু মধ্যস্থলে কোন তড়িৎ নাই।

এখন প্রশ্ন হইতেছে যে, A-কাচদণ্ডে ধনাত্মক তড়িৎ থাকিলে BC পরিবাহীর কোন্ প্রান্ত কিরূপ তড়িৎ দ্বারা আহিত হইবে? এই প্রশ্নের সমাধান নিম্নলিখিত ভাবে করা যায়ঃ

একটি ঋণাত্মক তড়িতাহিত স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ লও। A কাচদণ্ড BC পরিবাহীর নিকটে রাখিয়া একটি আধান-পরীক্ষককে B-প্রান্তে ছোঁয়াইয়া তড়িৎবীক্ষণের কাছে লইলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইবে। ইহা প্রমাণ করে, B-প্রান্ত ঋণাত্মক অর্থাৎ কাচদণ্ডের বিপরীত তড়িৎ দ্বারা আহিত। ঐরূপ C-প্রান্তে আধান-পরীক্ষক ছোঁয়াইয়া ধনাত্মক তড়িতাহিত তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনিলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইবে।



চিত্র 1·5

সুতরাং C-প্রান্ত ধনাত্মক অর্থাৎ, কাচদণ্ডের সমতড়িৎ দ্বারা আহিত। যদি A কাচদণ্ডের পরিবর্তে একটি এবোনাইট-দণ্ড পশম দিয়া ঘষিয়া ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করা যায় এবং BC পরিবাহীর কাছে আনা যায় তবে উপরোক্তভাবে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, B-প্রান্ত ধনাত্মক ও C-প্রান্ত ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইয়াছে এবং মাঝখানে কোন তড়িৎ নাই (1·5 নং চিত্র)।

সুতরাং উপরোক্ত পরীক্ষা হইতে বলা যাইতে পারে **তড়িৎবিহীন পরিবাহীর যে-প্রান্ত আহিত বস্তুর নিকটতম সেখানে আহিত বস্তুর বিপরীত তড়িৎ আবিষ্ট হইবে এবং দূরতম প্রান্তে আহিত বস্তুর সমতড়িৎ আবিষ্ট হইবে। মাঝখানে কোন তড়িৎ থাকিবে না।**

ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুযায়ী ব্যাখ্যাঃ (Explanation according to electronic theory)ঃ ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুযায়ী উপরোক্ত ঘটনার ব্যাখ্যা খুবই সহজ। প্রত্যেক পরিবাহীতেই প্রচুর স্বাধীন (free) ইলেকট্রন বর্তমান। এই ইলেকট্রনগুলি অবাধে পরিবাহীর এক পরমাণু হইতে অপর পরমাণুতে চলাচলে সক্ষম। প্রথম পরীক্ষায় A দণ্ডটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হওয়ায় BC পরিবাহীর স্বাধীন ইলেকট্রনগুলি আকর্ষিত হইয়া B-প্রান্তে জমা হইবে এবং ঐ প্রান্তে ইলেকট্রন সংখ্যার আধিক্য হইবে। অপরপক্ষে B-প্রান্তে ইলেকট্রন চলিয়া আসায় C-প্রান্তে ইলেকট্রন সংখ্যার ঘাটতি হইবে। কাজেই, B-প্রান্তে ঋণতড়িৎ এবং C-প্রান্তে ধনতড়িতের উদ্ভব হইবে।

দ্বিতীয় পরীক্ষায়, এবোনাইট দণ্ডটি ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হওয়ায় B-প্রান্তের স্বাধীন ইলেকট্রন-

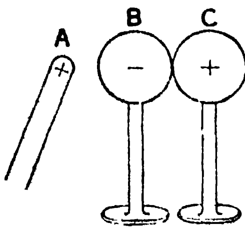
গুলিকে বিকর্ষণ করিবে। উহারা বিকর্ষিত হইয়া C-প্রান্তে জমা হইবে। সুতরাং B-প্রান্তে ইলেক্‌ট্রন সংখ্যার ঘাটতি হওয়ায় ঐ স্থানে ধনাত্মক তড়িৎ এবং C-প্রান্তে ইলেক্‌ট্রন সংখ্যার আধিক্য হওয়ায় ঐ স্থানে ঋণাত্মক তড়িতের উদ্ভব হইবে।

1·8. আবেশী (Inducing) ও আবিষ্ট (Induced) আধান; মুক্ত (Free) ও বদ্ধ (Bound) আধান : উপরোক্ত পরীক্ষায় কাচদণ্ডের ধনাত্মক তড়িৎ অথবা এবোনাইট দণ্ডের ঋণাত্মক তড়িৎ—যাহা BC পরিবাহীতে তড়িতাবেশ সৃষ্টি করিল—তাহাকে **আবেশী আধান** (inducing charge) বলে। BC পরিবাহীতে যে আধানের সৃষ্টি হইল তাহাকে **আবিষ্ট আধান** (induced charge) বলে।

তড়িতাবেশের ফলে BC পরিবাহীর B-প্রান্তে যে আধান আবিষ্ট হইল তাহা আবেশী আধানের বিপরীত বলিয়া দুই-এর ভিতর আকর্ষণ থাকে। তাই উক্ত আধান সহজে নড়াচড়া করিতে পারে না। এই কারণে B-প্রান্তের আধানকে **বদ্ধ আবিষ্ট আধান** (bound induced charge) বলে। কিন্তু C-প্রান্তের আধান আবেশী আধানের সমধর্মাবলম্বী বলিয়া বিকর্ষণ অনুভব করে এবং দূরে সরিয়া যাইতে চায়। A-দণ্ডকে না সরাইয়া BC পরিবাহীকে হাত দিয়া স্পর্শ করিলে বা কোন পরিবাহী তার দিয়া পৃথিবীর সহিত সংযুক্ত করিয়া দিলে C-প্রান্তের আধান তৎক্ষণাৎ পৃথিবীতে চলিয়া যাইবে। এই কারণে C-প্রান্তের আধানকে **মুক্ত আবিষ্ট আধান** (free induced charge) বলে।

সাধারণভাবে, তড়িতাবেশের ফলে উৎপন্ন আবিষ্ট আধানের পরিমাণ আবেশী আধান অপেক্ষা কম থাকে; কিন্তু উপযুক্ত অবস্থায় উহারা সমান হইতেও পারে। ফ্যারাডের বরফ-পাত্র পরীক্ষা দ্রষ্টব্য—1·11 অনুচ্ছেদ।

1·9. আবেশের ফলে একসঙ্গে উভয় প্রকার তড়িৎ সমপরিমাণে সৃষ্টি হয় (Induction develops simultaneously both kinds of electricity in equal amounts) : দুইটি একই সাইজের এবং একই ধাতুনির্মিত গোলক B এবং C লইয়া দুইটি অন্তরক হাতলের সহিত সংযুক্ত কর। এইবার উভয়কে স্পর্শ করাইয়া পাশাপাশি রাখো। একটি কাচদণ্ড (A) রেশম দিয়া ঘষিয়া ধনাত্মক তড়িতে আহিত করিয়া B ও C পরিবাহীর কাছে আন (1·6 নং চিত্র)। B ও C পরিবাহীতে তড়িতাবেশ হইবে। A দণ্ডকে না নাড়াইয়া B হইতে C-কে পৃথক করিয়া খানিকটা দূরে সরাইয়া রাখো এবং তারপর A দণ্ডকে সরাইয়া লও। পৃথক্ পৃথক্ ভাবে উহাদের একটি ধনাত্মক তড়িতগ্রস্ত স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের কাছে আন। B-এর বেলাতে স্বর্ণপত্রদ্বয় নির্মীলিত হইবে অর্থাৎ, B ঋণাত্মক তড়িতাবিষ্ট এবং C-এর বেলাতে স্বর্ণপত্রদ্বয় আরো বেশী বিস্ফারিত হইবে। সুতরাং C ধনাত্মক তড়িতাবিষ্ট।



চিত্র 1·6

এইবার B ও C-কে পুনরায় স্পর্শ করাও এবং A-দণ্ড কিছুক্ষণ উহাদের নিকটে রাখিয়া

পরে সরাইয়া লও। এখন B ও C-কে আলাদা ভাবে পরীক্ষা করিলে দেখা যাই যে, কোনটাতে তড়িৎ নাই; অর্থাৎ B-এর ঋণাত্মক তড়িৎ এবং C-এর ধনাত্মক তড়িৎ উভয়ে উভয়কে প্রশমিত (neutralised) করিয়াছে। সুতরাং B ও C-তে সমপরিমাণ আধান আবিষ্ট হইয়াছে।

পূর্বে তোমরা 'শক্তির নিত্যতা' সূত্র পড়িয়াছ এবং জানিয়াছ, নূতন শক্তি সৃষ্টি করা বা শক্তি ধ্বংস করা সম্ভব নয়। রসায়ন শাস্ত্রে সম্ভবত 'পদার্থের নিত্যতা' (conservation of matter) সূত্রের সন্ধান পাইয়াছ। এই সূত্রানুযায়ী নতুন পদার্থ সৃষ্টি করা বা পদার্থ ধ্বংস করা সম্ভব নয়। এই সঙ্গে 'তড়িতের নিত্যতা' (conservation of electricity) সূত্রও প্রণিধানযোগ্য। এই সূত্র হইতে আমরা জানিতে পারি নতুন তড়িতের সৃষ্টি বা তড়িতের ধ্বংস আমাদের পক্ষে সম্ভব নয়। যে-কোন তড়িৎ সম্পর্কীয় ঘটনায়, কোথাও কিছু তড়িতের উদ্ভব হইলে সঙ্গে সঙ্গে অন্য কোথাও সমপরিমাণ বিপরীত তড়িতের উদ্ভব হইতে বাধ্য। কোন তড়িৎ উৎপন্ন করিলে সঙ্গে সঙ্গে সমপরিমাণ বিপরীত তড়িৎ উৎপন্ন হইবে—ইহা কোন নতুন তড়িতের সৃষ্টি নয়—ইহা তড়িতের পৃথকীকরণ।

1·10. **আকর্ষণের পূর্বে আবেশ হয়** (Induction precedes attraction) : আমরা দেখিয়াছি, কোন তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর নিকটে অন্য একটি তড়িৎবিহীন বস্তুকে আনা হইলে আকর্ষণ অনুভূত হয়। এই আকর্ষণের কারণ কি?

যখন তড়িৎবিহীন বস্তুকে তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর নিকটে আনা হয় তখন তড়িতাবেশ হয়। তড়িৎ-বিহীন বস্তুর যে-প্রান্ত আহিত বস্তুর নিকটতম তথায় বিপরীত আধান এবং দূরতম প্রান্তে সম-আধান আবিষ্ট হয়। কাছাকাছি বিপরীত আধানের আকর্ষণ বল দূরে অবস্থিত সম-আধানের বিকর্ষণ বলের চাইতে অনেক বেশী। সুতরাং আবিষ্ট বস্তু আবেশী বস্তু কর্তৃক আকর্ষিত হয়। এই জন্য বলা হয়—আকর্ষণের পূর্বে আবেশ হয়। এই প্রসঙ্গে উল্লেখ করা যাইতে পারে চুম্বকের বেলাতেও অনুরূপ ঘটনা ঘটে।

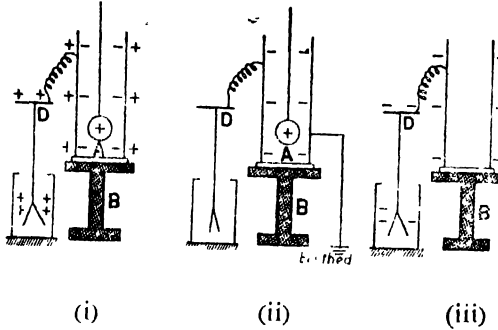
1·11. **ফ্যারাডের বরফ-পাত্র পরীক্ষা** (Faraday's ice-pail experiment) : ফ্যারাডে তড়িতাবেশ সম্পর্কিত কয়েকটি মূল্যবান তথ্য পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণিত করেন। তিনি এই পরীক্ষাগুলি সম্পন্ন করিবার জন্য বরফ রাখিবার একটি ধাতবপাত্র ব্যবহার করিয়াছিলেন। তখন হইতে এই পরীক্ষাটি বরফ-পাত্র বলিয়া পরিচিত হইয়া আসিয়াছে, যদিও মূল পরীক্ষায় বরফের কোন প্রয়োজন নাই।

এই পরীক্ষা হইতে তড়িতাবেশ সম্পর্কিত যে তথ্যগুলি আমরা জানিতে পারি তাহা হইল :—
(1) আবেশের ফলে একই সঙ্গে উভয় প্রকার তড়িৎ সমপরিমাণে সৃষ্টি হয়। (2) যখন আবেশ সম্পূর্ণ হয়, অর্থাৎ যখন আবিষ্ট বস্তু কর্তৃক আবেশী বস্তু সম্পূর্ণ আবৃত হয়, তখন আবেশী আধান ও আবিষ্ট আধান পরস্পরের সমান হয়।

এখন ফ্যারাডে কিরূপে পরীক্ষামূলকভাবে উপরোক্ত তথ্য দুইটি প্রতিষ্ঠা করিয়াছিলেন তাহার আলোচনা করা যাউক।

পরীক্ষা : একটি অন্তরক আসন B-এর উপর একটি গভীর ধাতব পাত্র বসানো হইয়াছে। পাত্রের সহিত একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের চাকতি D একটি পরিবাহী তার দিয়া যুক্ত করা আছে;

[1·7(i) নং চিত্র]। একটি পরিবাহী A-কে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করিয়া একগাছা সিল্কের সুতার সাহায্যে পাত্রের মধ্য আস্তে আস্তে প্রবেশ করাইতে হইবে। দেখা যাইবে A-পরিবাহী যতই পাত্রের ভিতর প্রবেশ করিতেছে তড়িৎবীক্ষণের পত্র দুইটি ধীরে ধীরে বিস্ফারিত হইতেছে [1·7(i) নং চিত্র]। যখন A-পরিবাহী পাত্রের খুব অভ্যন্তরে প্রবেশ করিবে তখন দেখা যাইবে,

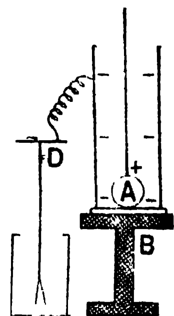


চিত্র 1·7

পত্র দুইটির বিস্ফারণ সর্বাধিক হইয়াছে এবং তখন পরিবাহীকে আরও ভিতর প্রবেশ করাইলে বা এদিক-ওদিক নাড়াইলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণের কোন পরিবর্তন হইতেছে না। এই অবস্থায় বলা হয়, আবেশ সম্পূর্ণ হইয়াছে। আবেশের ফলে পাত্রের অভ্যন্তরস্থ তল ঋণাত্মক তড়িৎ পাইবে এবং বহিঃস্থ তল ধনাত্মক তড়িৎ পাইবে। তড়িৎবীক্ষণ পাত্রের বহিঃস্থ তলের সহিত সাক্ষাৎ সংস্পর্শে আছে বলিয়া তড়িৎবীক্ষণও ধনাত্মক তড়িৎ পাইবে। ফলে স্বর্ণপত্র দুইটির বিস্ফারণ ঘটে। তড়িৎবীক্ষণ যে বাস্তবিক ধনাত্মক তড়িৎ পাইয়াছে তাহা প্রমাণ করিবার জন্য একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত আধান-পরীক্ষককে (proof-plane) D-চাকতির কাছে আনিলে স্বর্ণপত্র-দ্বয়ের বিস্ফারণ কিছু বৃদ্ধি পাইতে দেখা যাইবে। ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে পাত্রের বহিঃস্থ তলের ধনাত্মক তড়িৎ কিছু পরিমাণে তড়িৎবীক্ষণে পরিবাহিত হইয়াছে।

এইবার ক্ষণেকের জন্য পাত্রকে হাত দিয়া স্পর্শ কর। ইহাতে পাত্র পৃথিবীর সহিত যুক্ত হইবে এবং মুক্ত ধনাত্মক আবিষ্ট আধান পৃথিবীতে চলিয়া যাইবে। ফলে, তড়িৎবীক্ষণের পত্র দুইটি নিমীলিত হইবে [1·7(ii) নং চিত্র]। কিন্তু পাত্রের অভ্যন্তরস্থ তলের বদ্ধ ঋণাত্মক আধান থাকিয়া যাইবে। এখন সুতার সাহায্যে A-পরিবাহীকে সরাইয়া লও। দেখিও যেন উহা পাত্রকে স্পর্শ না করে। আবেশের নিয়মানুযায়ী বদ্ধ ঋণাত্মক আধান এইবার তড়িৎবীক্ষণে বিস্তৃত হইবার কথা। বাস্তবিক দেখা যাইবে, স্বর্ণপত্র দুইটি আবার বিস্ফারিত হইয়াছে এবং পূর্বের বিস্ফারণের পরিমাণ এখনকার বিস্ফারণের সমান [1·7(iii) নং চিত্র]। তড়িৎবীক্ষণে যে সত্য সত্য ঋণাত্মক তড়িৎ আছে তাহা পূর্বোল্লিখিত আধান-পরীক্ষকের সাহায্যে পরীক্ষা করা যাইতে পারে। ধনাত্মক তড়িতাহিত আধান-পরীক্ষক D-চাকতির কাছে আনিলে পত্র দুইটি সামান্য নিমীলিত হইতে দেখা যাইবে। সুতরাং এই পরীক্ষা প্রমাণ করে, **আবেশের ফলে একই সঙ্গে উভয় প্রকার তড়িৎ সম-পরিমাণে সৃষ্ট হয়।**

এইবার দ্বিতীয় তথ্যটি প্রমাণ করিতে হইবে। পাত্রকে হাত দিয়া স্পর্শ কর। ইহাতে পাত্রের তড়িৎ তৎক্ষণাৎ মাটিতে চলিয়া যাইবে এবং পাত্র নিস্তড়িৎ হইবে। তড়িৎবীক্ষণের পত্র দুইটিও নিমীলিত হইবে। পুনরায় ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত A-পরিবাহীকে আস্তে আস্তে পাত্রের ভিতর প্রবেশ করাও এবং বেশ অভ্যন্তরে লইয়া যাও। তড়িৎবীক্ষণের পত্র দুইটি ধীরে ধীরে বিস্ফারিত হইবে এবং অবশেষে বিস্ফারণ সর্বাধিক হইবে—অর্থাৎ, তখন আবেশ সম্পূর্ণ হইবে। এই অবস্থায় পাত্রটি হাত দিয়া স্পর্শ করিলে পাত্রের বাহিরের ধনাত্মক আবিষ্ট আধান মাটিতে চলিয়া যাইবে। তখন স্বর্ণপত্র দুইটি নিমীলিত হইবে। কিন্তু পাত্রের ভিতরের ঋণাত্মক আবিষ্ট আধান থাকিয়া যাইবে। এইবার A-পরিবাহীকে পাত্রের সহিত স্পর্শ করাও (1·8 নং চিত্র)। স্বর্ণপত্র দুইটি পূর্বে যেরূপ নিমীলিত ছিল সেইরূপ থাকিবে। এখন A-পরিবাহী বাহির করিয়া আনিয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে ইহাতে কোন তড়িৎ নাই। পাত্রকে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, উহাতেও কোন তড়িৎ নাই। ইহার কারণ, A পরিবাহীর ধনাত্মক আধান পাত্রের ভিতরের ঋণাত্মক আবিষ্ট আধানকে সম্পূর্ণ প্রশমিত করিয়াছে। সুতরাং বলা যাইতে পারে, **যখন আবেশ সম্পূর্ণ হয় তখন আবেশী আধান ও আবিষ্ট আধান পরিমাণে সমান হয়।**



চিত্র 1·8

1·12. **চৌম্বক আবেশ ও তড়িতাবেশের তুলনা** (Comparison between magnetic and electrostatic induction) : (1) চৌম্বক আবেশে যেমন দুইটি বিপরীত মেরুর উৎপত্তি হয় তড়িতাবেশেও দুইটি বিপরীত আধানের উৎপত্তি হয়।

(2) তড়িতাবেশের ক্ষেত্রে আবেশী বস্তু (inducing body) সরাইয়া নিলে তৎক্ষণাৎ আবিষ্ট আধান অন্তহিত হয়। কিন্তু চৌম্বক আবেশের ক্ষেত্রে আবেশী বস্তু সরাইয়া নিলে আবিষ্ট চুম্বকত্ব তৎক্ষণাৎ অন্তহিত হয় না। আবিষ্ট চুম্বকত্ব কিছুক্ষণ স্থায়ী হয়।

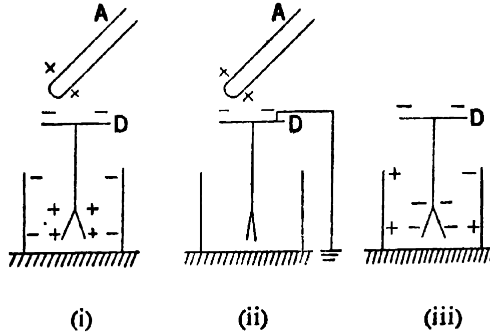
(3) তড়িতাবেশ সৃষ্টি করিতে হইলে আবেশী বস্তু এবং আবিষ্ট বস্তুর ভিতর কিছু ব্যবধান রাখা প্রয়োজন, কিন্তু চৌম্বক আবেশের বেলাতে দুই বস্তুর ভিতর ব্যবধান না রাখিলেও চলে।

(4) তড়িতাবেশের বেলাতে দুই বিপরীত আবিষ্ট আধানকে সহজে পৃথক্ করা যায়, কিন্তু চৌম্বক আবেশ হইয়া দুই বিপরীত মেরুর উৎপত্তি হইলে উহাদের পৃথক করা যায় না।

1·13. **আবেশ দ্বারা স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে আহিতকরণ** (Charging a gold-leaf electroscope by induction) : নিম্নবর্ণিত উপায়ে তড়িৎবীক্ষণকে আবেশ দ্বারা ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা যায়।

(ক) **+ আধানে আহিতকরণ :** (i) একটি এবোনাইট দণ্ড (A) পশম দিয়া ঘষিয়া ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত কর এবং ঐ দণ্ডকে তড়িৎবীক্ষণের চাক্তির (D) কাছে ধর। চাক্তির মুক্ত ইলেক্ট্রনগুলি A-দণ্ডের বাড়তি ইলেক্ট্রন দ্বারা বিকর্ষিত হইয়া পত্রদ্বয়ে জমা হইবে। চাক্তিতে

ইলেক্ট্রনের ঘাটতি হওয়ায় D-চাক্তি ধনাত্মক তড়িৎ পাইবে ও স্বর্ণপত্রদ্বয়ে ইলেক্ট্রনের বাড়তি হওয়ায় স্বর্ণপত্রদ্বয় ঋণাত্মক তড়িৎ পাইবে। তখন স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ হইবে [1·9(i) নং চিত্র]।



চিত্র 1·9

(ii) দণ্ড না সরাইয়া তড়িৎবীক্ষণের চাক্তি D হাত দিয়া ক্ষণেকের জন্য স্পর্শ কর। ইহাতে তড়িৎবীক্ষণকে মাটির সহিত সংযুক্ত করা হইল। ফলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বাড়তি ইলেক্ট্রন বিকর্ষিত হইয়া তৎক্ষণাৎ মাটিতে চলিয়া যাইবে এবং পত্র দুইটি নিমীলিত হইবে [1·9(ii) নং চিত্র]।

(iii) এইবার দণ্ড সরাইয়া লও। D-চাক্তির ধনাত্মক বদ্ধ আবিষ্ট আধান তড়িৎবীক্ষণের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে এবং স্বর্ণপত্র দুইটি এই ধনাত্মক আধান পাইয়া পুনরায় বিস্ফারিত হইবে [1·9(iii) নং চিত্র]।

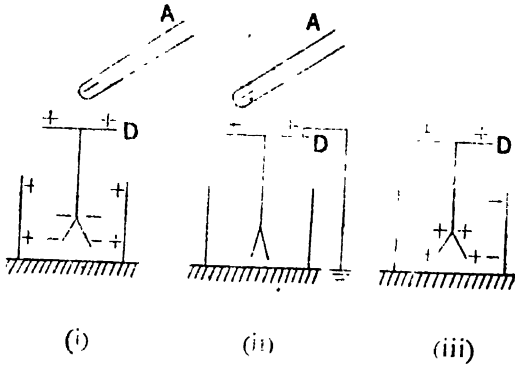
এইরূপে একটি ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত দণ্ডের সাহায্যে আবেশ দ্বারা তড়িৎবীক্ষণকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা যায়।

(খ) — আধানে আহিতকরণ. (i) একটি কাচদণ্ড (A) রেশম দিয়া ঘষিয়া ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত কর এবং ঐ দণ্ডকে তড়িৎবীক্ষণের চাক্তির (D) নিকটে আন। ইহাতে দণ্ড তড়িৎ-বীক্ষণের মুক্ত ইলেক্ট্রনগুলিকে আকর্ষণ করিয়া D-চাক্তিতে জমা করিবে। ফলে নিকটতম প্রান্ত D অর্থাৎ চাক্তিতে ঋণাত্মক তড়িৎ ও দূরতম প্রান্ত অর্থাৎ স্বর্ণপত্রদ্বয় ধনাত্মক তড়িৎ পাইবে। ইহাতে পাতা দুইটির বিস্ফারণ হইবে [1·10(i) নং চিত্র]।

(ii) দণ্ড না সরাইয়া তড়িৎবীক্ষণের চাক্তি D হাত দিয়া মুহূর্তের জন্য স্পর্শ কর—অর্থাৎ, তড়িৎবীক্ষণকে মাটির সহিত সংযুক্ত কর। ফলে, পৃথিবী হইতে আরো ইলেক্ট্রন আকর্ষিত হইয়া স্বর্ণপত্রদ্বয়ের ধনাত্মক তড়িৎকে প্রশমিত করিবে এবং পাতা দুইটি নিমীলিত হইবে [1·10(ii) নং চিত্র]।

(iii) এইবার A-দণ্ড সরাইয়া লও। D-চাক্তির ঋণাত্মক বদ্ধ আধান তড়িৎ বীক্ষণের

সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে এবং স্বর্ণপত্র দুইটি ঋণাত্মক তড়িৎ পাইয়া পুনরায় বিস্ফারিত হইবে [1·10(iii) নং চিত্র]।



চিত্র 1·10

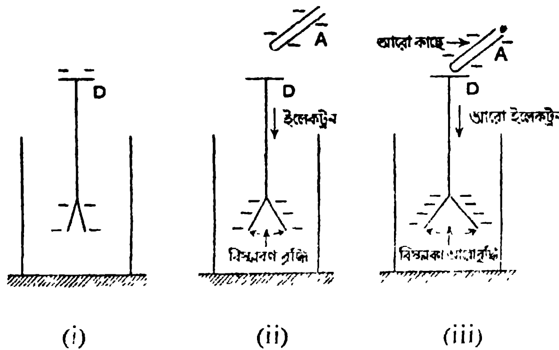
সুতরাং দেখা যাইতেছে, **আবেশ দ্বারা আহিতকরণে আবিষ্ট বস্তু আবেশী বস্তুর বিপরীত আধান পায়।**

1·14 **স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণে টিনের পাতের কার্য** (Function of the tin plates of a gold-leaf electroscope) : স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ বর্ণনার সময় বলা হইয়াছে যে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের সামনে এবং কাচপাত্রের ভিতরের দিকে দুইটি টিনের পাত (t, t) আটকানো থাকে। এই পাত দুইটির কার্য কি?

যখন আবেশদ্বারা স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে আহিত করা হয় তখন পত্র দুইটি সমজাতীয় তড়িৎ পায়। পত্রের ঐ তড়িৎ সম্মুখস্থ টিনের পাতে বিপরীত তড়িৎ এবং কাচপাত্রের বাহিরের দেওয়ালে সমতড়িৎ আবিষ্ট করে। বাহিরের দেওয়াল মাটির সহিত সংস্পর্শযুক্ত বলিয়া উহার তড়িৎ তৎক্ষণাৎ মাটিতে চলিয়া যায়। ফলে টিনের পাতের বিপরীত তড়িৎ স্বর্ণপত্রের তড়িৎকে আকর্ষণ করে এবং পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি করে। ইহাতে যন্ত্রটি সুবেদী হয়। 1·9 নং চিত্রে স্বর্ণপত্রদ্বয় ধনাত্মক তড়িৎ পাইয়াছে এবং টিনের পাত দুইটি ঋণাত্মক তড়িৎ পাইয়াছে। 1·10 নং চিত্রে স্বর্ণপত্রদ্বয় ঋণাত্মক তড়িৎ এবং টিনের পাত দুইটি ধনাত্মক তড়িৎ পাইয়াছে। উভয় ক্ষেত্রেই টিনের পাত ও স্বর্ণপত্রের ভিতর আকর্ষণ বল ক্রিয়া করিয়া পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি করিবে। টিনের পাত না থাকিলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ কম হইত।

1·15. **তড়িৎগ্রস্ত তড়িৎবীক্ষণের উপর তড়িতাহিত দণ্ডের প্রভাব** (Effect of a charged rod on a charged gold-leaf electroscope) : 1·3 অনুচ্ছেদে তড়িৎবীক্ষণের ব্যবহার সম্পর্কে বলা হইয়াছে যে এই যন্ত্রের সাহায্যে কোন তড়িতাহিত বস্তুর তড়িতের প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়। বস্তু এবং তড়িৎবীক্ষণে একই ধরণের তড়িতাধান থাকিলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পায় এবং বিপরীত তড়িতাধান থাকিলে বিস্ফারণ হ্রাস পায়। ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুযায়ী এই ঘটনার ব্যাখ্যা এখন আমরা দিতে পারিব।

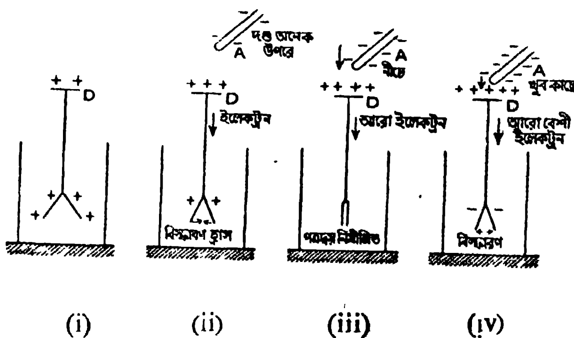
1·11. নং চিত্র লক্ষ্য কর। ঐ চিত্রে ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত দণ্ড A ঋণাত্মক তড়িতাহিত তড়িৎবীক্ষণের সম্মুখে আনা হইয়াছে এবং কিরূপে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইয়াছে তাহা দেখানো



চিত্র 1·11

হইয়াছে। অনুরূপভাবে দণ্ড ধনাত্মক তড়িতাহিত এবং তড়িৎবীক্ষণও ধনাত্মক তড়িতাহিত হইলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইবে।

কিন্তু তীব্র ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত কোন দণ্ডকে ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত তড়িৎবীক্ষণের চাকতির খুব কাছে আনিলে কিরূপ ঘটনা ঘটিতে পারে তাহা 1·12 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। তড়িৎবীক্ষণ হইতে যখন A-দণ্ড অনেক উপরে তখন D-চাক্‌তি হইতে কিছু মুক্ত ইলেক্‌ট্রন বিকর্ষিত হইয়া স্বর্ণপত্রে জমা হয় এবং পত্রদ্বয়ের ধনাত্মক তড়িৎকে কিছুটা প্রশমিত করে। তাই পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ কিছু হ্রাস পায় [চিত্র 1·12(ii)]। যত দণ্ডকে D-চাক্‌তির কাছে আনা হইবে, তত বেশী ইলেক্‌ট্রন বিকর্ষিত হইয়া পত্রদ্বয়ে জমা হইয়া পত্রের ধনাত্মক তড়িৎকে প্রশমিত করিতে থাকিবে; অবশেষে



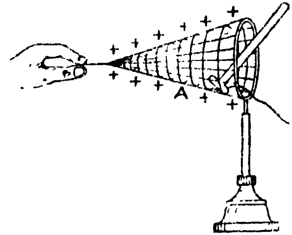
চিত্র 1·12

পত্রদ্বয়ের ধনাত্মক তড়িৎ সম্পূর্ণরূপে প্রশমিত হইলে পত্রদ্বয় নিমীলিত হইবে [চিত্র 1·12(iii)]। ইহার পর যদি দণ্ডকে আরো কাছে আনা যায়, তাহা হইলে পত্রদ্বয়ের পুনরায় বিস্ফারণ লক্ষ্য করা যায়; কারণ, এক্ষেত্রে চাক্‌তি হইতে আরো ইলেক্‌ট্রন বিকর্ষিত হইয়া পত্রদ্বয়ে ইলেকট্রনের বাড়তি ঘটায় এবং পত্রদ্বয় ঋণাত্মক তড়িৎ পাইয়া বিস্ফারিত হয় [চিত্র 1·12(iv)]।

অতএব এই ধরনের পরীক্ষায় তড়িতাহিত দণ্ডকে বেশ কিছু উপর হইতে **ধীরে ধীরে** তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনিতে হইবে যাহাতে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণের প্রাথমিক হ্রাস নজরে পড়ে। যদি দণ্ডকে দ্রুত তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনা হয় তাহা হইলে উভয়ের বিপরীত তড়িতাধান থাকা সত্ত্বেও স্বর্ণপত্রদ্বয়ের চূড়ান্ত বিস্ফারণ লক্ষ্য করিয়া দণ্ডে এবং তড়িৎবীক্ষণে একই ধরণের তড়িতাধান আছে বলিয়া ভুল সিদ্ধান্ত হইবার সম্ভাবনা থাকে।

1·16. **আহিত পরিবাহীর আধান সর্বদা পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে** (Charge resides only upon the outer surface of a conductor)ঃ যখনই কোন পরিবাহীকে তড়িতাহিত করা হয় তখন দেখা যায় যে, ঐ আধান সর্বদা পরিবাহীর উপর-পৃষ্ঠে অবস্থান করে। এই প্রসঙ্গে ফ্যারাডের একটি ইতিহাসপ্রসিদ্ধ পরীক্ষা আছে। তিনি দৈর্ঘ্যে, প্রস্থে ও উচ্চতায় 12 ফুট করিয়া একটি চৌকোনা বাক্স তৈরী করাইয়া উহার বহিরাবরণ টিনের পাত দিয়া মুড়িয়া দেন। অতঃপর, তড়িতের অস্তিত্ব পরীক্ষার উপযোগী কয়েকটি যন্ত্রসহ নিজে ঐ বাক্সের মধ্যে ঢুকিয়া দরজা বন্ধ করিয়া দেন। তড়িৎযন্ত্রের সাহায্য ঐ বাক্সকে এত প্রচুর পরিমাণ তড়িতে আহিত করা হইল যে টিনের পাত হইতে বাহিরের দিকে দীর্ঘ তড়িৎস্ফুলিঙ্গ (electric spark) হইতে দেখা গেল। কিন্তু বাক্সের অভ্যন্তরে ফ্যারাডে কোনরূপ তড়িৎপৃষ্ঠ হইলেন না বা যন্ত্রপাতিতে তড়িতের অস্তিত্ব ধরা পড়িল না। এ ছাড়া, নিম্নবর্ণিত কয়েকটি সহজ পরীক্ষাদ্বারাও উপরোক্ত ঘটনা প্রমাণ করা যায়।

(1) **ফ্যারাডের প্রজাপতি জাল পরীক্ষা**ঃ A একটি শঙ্কু আকৃতির মসলিন বা সুতার জাল। উহা একটি আংটার সহিত (1·13 নং চিত্র) আটকানো। আংটাটি অন্তরক হাতলের উপর স্থাপিত। জালের সরু প্রান্তে দুই গাছা লম্বা রেশম সুতা যুক্ত আছে। ঐ সুতা টানিয়া জালকে উল্টানো যায়। কোন তড়িৎ-যন্ত্রের সাহায্যে জালকে তীব্র আধানে আহিত কর। এইবার একটি আধান-পরীক্ষক (proof-plane) লইয়া জালের ভিতরের পিঠে ছোঁয়াও। আধান-পরীক্ষককে তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনিলে স্বর্ণপত্রের কোন বিস্ফারণ লক্ষিত হইবে না। ইহা প্রমাণ করে, জালের ভিতরের পিঠে কোন আধান নাই। এইবার আধান-পরীক্ষককে জালের বাহিরের পিঠে ছোঁয়াইয়া তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনিলে তৎক্ষণাৎ পাতা দুইটি ফাঁক হইয়া যাইবে। ইহা প্রমাণ করে জালের বাহিরের পিঠ তড়িৎগ্রস্ত।

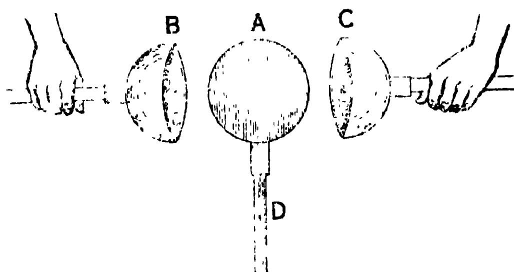


চিত্র 1·13

এইবার সুতা টানিয়া জালকে উল্টাও অর্থাৎ, বাহিরের পিঠ ভিতরে এবং ভিতরের পিঠ বাহিরে আনো। আধান-পরীক্ষক দ্বারা এই নতুন ভিতরের পিঠকে উপরোক্ত উপায়ে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, ভিতরের পিঠে কোন আধান নাই। উপরের পিঠ পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, আধান উপরের পিঠে চলিয়া আসিয়াছে।*

[* ফ্যারাডে যখন প্রথম এই পরীক্ষা করেন তখন একটি প্রজাপতি-ধরা জাল ব্যবহার করিয়াছিলেন বলিয়া পরীক্ষাটিকে প্রজাপতি জাল পরীক্ষা বলা হয়।]

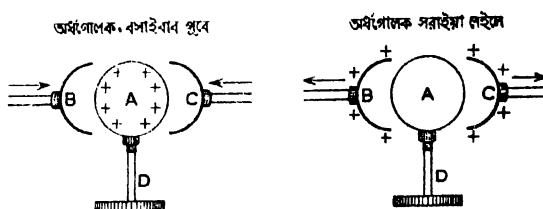
(2) **বায়ট-এর পরীক্ষা :** A একটি ধাতব গোলক। একটি অন্তরিত হাতলের (D) উপরে উহা স্থাপিত। B ও C দুইটি পাতলা ধাতব অর্ধগোলক। উহারা A-গোলককে সম্পূর্ণ আবৃত করিতে পারে। এই দুইটি অর্ধগোলকের সহিত অন্তরিত হাতল সংযুক্ত আছে [1·14(a) নং চিত্র]। A-গোলককে তড়িতাহিত করা হইল। এইবার অর্ধগোলক দুইটি দ্বারা A-কে সম্পূর্ণ আবৃত করা হইল কিন্তু A-র সহিত অর্ধগোলক দুইটির সংযোগ করা হইল না। অর্ধ-



চিত্র 1·14(a)

গোলক দুইটিকে অন্তরিত হাতল দ্বারা সরাইয়া আনিয়া আলাদাভাবে তড়িৎবীক্ষণ দ্বারা পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, উহাদের কোন তড়িৎ নাই। A গোলককে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, উহার তড়িৎ ঠিকই আছে।

পুনরায় অর্ধগোলকদ্বয় কর্তৃক A-কে আবৃত করা হইল ; কিন্তু এইবার উভয়ের ভিতর সংযোগ করা হইল। এখন অর্ধগোলকদ্বয়কে সরাইয়া লইয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, A-গোলকে

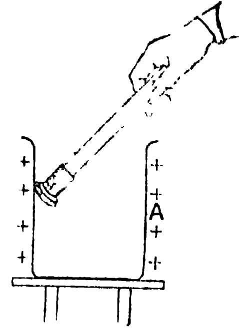


চিত্র 1·14 (b)

কোন আধান নাই। সব আধান অর্ধগোলকদ্বয়ে চলিয়া আসিয়াছে [চিত্র 1·14(b)]। ইহার কারণ কি?

যখন অর্ধগোলকদ্বয় দ্বারা A-কে আবৃত করিয়া উভয়কে স্পর্শ করানো হইল তখন উভয়ে মিলিয়া একটি একক (single) পরিবাহীতে পরিণত হইল যাহার উপরের পিঠ হইল অর্ধ-গোলক দুইটির উপরের পিঠ। সুতরাং এই অবস্থায় আধান পরিবাহীর উপরের পিঠে আসিবে। অর্থাৎ, A-গোলকের আধান অর্ধগোলকদ্বয়ের উপরের পিঠে চলিয়া আসিবে।

(3) **ফাঁপা পরিবাহীর দ্বারা পরীক্ষা** (Experiment with a hollow conductor) ঃ A একটি গভীর ধাতুপাত্র একটি অন্তরক আসনের উপর বসানো (1·15 নং চিত্র)। পাত্রকে তীব্র (strong) ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা হইল। এখন একটি আধান-পরীক্ষককে ধাতুপাত্রের ভিতরের দেওয়াল স্পর্শ করাইয়া স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ দ্বারা পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে, আধান-পরীক্ষক তড়িতাহিত হয় নাই। অর্থাৎ, ধাতুপাত্রের অভ্যন্তরে কোন আধান নাই। এইবার আধান-পরীক্ষককে ধাতুপাত্রের বাহিরের দেওয়াল স্পর্শ করানো হইল এবং আধান-পরীক্ষককে তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনা হইল। দেখা যাইবে, স্বর্ণপত্রদ্বয় বিস্ফারিত হইয়াছে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয়, তড়িতাহিত ফাঁপা পরিবাহীর আধান পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে।



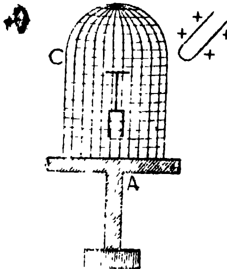
চিত্র 1·15

সুতরাং উপরোক্ত পরীক্ষাগুলি হইতে সিদ্ধান্ত করা যায়,

আহিত পরিবাহীর আধান পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে, ভিতরের পৃষ্ঠে করে না।

এই ঘটনা বিশেষ তাৎপর্যপূর্ণ, কারণ, ইহার সাহায্যে এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে তড়িতের স্থানান্তর খুবই সহজ। একটি ফাঁপা পরিবাহী লইয়া উহার আভ্যন্তরীণ তলের সহিত কোন তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর সংযোগ ঘটাইলেই তড়িৎগ্রস্ত বস্তু হইতে তড়িৎ সম্পূর্ণভাবে ফাঁপা পরিবাহীতে স্থানান্তরিত হইবে ; কারণ, তড়িতের ধর্মই হইতেছে একটা গোটা পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করা।

1·17. **তড়িৎ পর্দা** (Electric screen) ঃ কোন পরিবাহীকে তড়িতাহিত করিলে তড়িতাধান পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে—তড়িতের এই ধর্মকে অবলম্বন করিয়া তড়িৎ-পর্দার সৃষ্টি করা যাইতে পারে—অর্থাৎ, কোন আবদ্ধ স্থানকে তড়িতের প্রভাব হইতে মুক্ত রাখা যাইতে পারে। নিম্নবর্ণিত পরীক্ষা হইতে এই ঘটনা সুন্দররূপে বোঝা যাইবে।



চিত্র 1·16

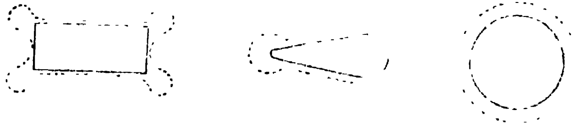
পরীক্ষা ঃ C একটি তামার তারের জাল দ্বারা তৈরী খাঁচা। উহা একটি অন্তরক আসন A-র উপর বসানো আছে (চিত্র 1·16)। খাঁচার ভিতরে একটি তড়িৎবীক্ষণ রাখা আছে। এখন যদি একটি তড়িৎগ্রস্ত দণ্ড খাঁচার কাছে আনা যায় তবে তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্র দুইটির কোন বিস্ফারণ দেখা যাইবে না। এমন কি তড়িৎযন্ত্রের সাহায্যে যদি খাঁচাকে তড়িতাহিত করা যায় তবুও কোনরূপ বিস্ফারণ হইবে না। ইহার কারণ, খাঁচা তড়িতাধান পাইলে, উহা খাঁচার বাহিরের পৃষ্ঠেই থাকিবে—খাঁচার ভিতর তড়িতের কোন অস্তিত্ব থাকিবে না। সুতরাং খাঁচার অভ্যন্তরস্থ স্থান তড়িতের প্রভাব হইতে মুক্ত।

এই প্রণালীর সাহায্যে তড়িৎ সংক্রান্ত সুবেদী (sensitive) যন্ত্রপাতিগুলিকে বহিরাগত

ও অকস্মাৎ উৎপন্ন তড়িতের প্রভাব হইতে মুক্ত রাখা হয়। প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে, চুম্বকের ক্ষেত্রেও এই ধরনের পর্দা সৃষ্টি করা যায়।

1·18. পরিবাহীর পৃষ্ঠে আধান বণ্টন (Distribution of charge on a conductor) **ও আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব** (Surface-density of charge) **:** আমরা দেখিলাম, আহিত পরিবাহীর আধান পরিবাহীর উপর পৃষ্ঠে অবস্থান করে। কিন্তু পরিবাহীর পৃষ্ঠে সর্বত্র আধানের পরিমাণ সমান হয় না। পরিবাহীর আকারের উপর বিভিন্ন স্থানের আধানের পরিমাণ নির্ভর করে। পৃষ্ঠের যে অংশের বক্রতা বেশী বা যে অংশ বেশী তীক্ষ্ণাগ্র সেই অংশে আধানের পরিমাণ বেশী হয়।

1·17 নং চিত্রে বিভিন্ন আকারের তড়িৎগ্রস্ত পরিবাহীর পৃষ্ঠে আধানের পরিমাণ কিরূপ হইবে তাহা দেখানো হইয়াছে। পরিবাহীর পৃষ্ঠের যে-কোন বিন্দু হইতে কাটা লাইনের দূরত্ব ঐ বিন্দুর



চিত্র 1·17

তড়িৎ-পরিমাণ বুঝাইতেছে। শেষ পরিবাহীটি গোলাকার হওয়ায় উহার পৃষ্ঠের সর্বত্র আধানের পরিমাণ সমান, কিন্তু অন্য দুইটি পরিবাহীতে তাহা হয় নাই।

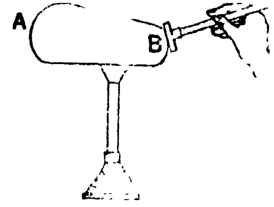
সংজ্ঞা : পরিবাহীর পৃষ্ঠে যে-কোন বিন্দুর চতুর্দিকে যদি একক ক্ষেত্রফল (unit area) কল্পনা করিয়া লওয়া হয় তবে ঐ ক্ষেত্রফলে যে পরিমাণ আধান থাকিবে তাহাকে ঐ বিন্দুর আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলা হয়।

[গোলকের ক্ষেত্রে, উহার পৃষ্ঠের সর্বত্র আধানের পরিমাণ সমান হওয়ায় গোলকের তলমাত্রিক ঘনত্ব সর্বত্র সমান। গোলকের ব্যাসার্ধ r এবং তড়িতাধান Q হইলে, তলমাত্রিক ঘনত্ব $= \frac{Q}{4\pi r^2}$.]

পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়, অসম বস্তুর বিভিন্ন স্থানে তলমাত্রিক ঘনত্ব বিভিন্ন।

পরীক্ষা : 1·18 নং চিত্রে AB একটি অসম আকৃতির পরিবাহী। A প্রান্তের বক্রতা B প্রান্ত অপেক্ষা কম। পরিবাহীকে আহিত করা হইল। এইবার একটি আধান-পরীক্ষককে পরিবাহীর বিভিন্ন অংশে ছোঁয়াইলে আধান-পরীক্ষক ঐসব অংশের তলমাত্রিক ঘনত্ব অনুযায়ী আধান সংগ্রহ করিবে। আধান-পরীক্ষককে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনিয়া তড়িৎবীক্ষণের পাতা দুইটির বিস্ফারণ লক্ষ্য করিলে ঐ সকল বিন্দুর তলমাত্রিক ঘনত্বের মোটামুটি ধারণা হইবে। এইভাবে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, A বিন্দুর বেলাতে পাতা দুইটির বিস্ফারণ B-বিন্দুর চাইতে কম অর্থাৎ A-বিন্দুর তলমাত্রিক ঘনত্ব B-বিন্দু অপেক্ষা কম। সুতরাং বলা যাইতে পারে, পরিবাহীর তীক্ষ্ণাগ্র অংশে বেশী পরিমাণ আধান জমা হয়।

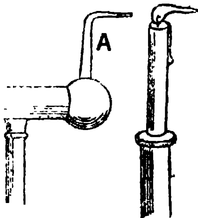
এই পরীক্ষায় দুইটি বিষয়ের প্রতি লক্ষ্য রাখিতে হইবে। প্রথমত, পরিবাহীর কোন বিন্দুতে আধান-পরীক্ষক স্পর্শ করাইয়া পরীক্ষা করিবার পর দ্বিতীয় বিন্দু স্পর্শ করিবার পূর্বে আধান-পরীক্ষককে নিস্তড়িৎ করিয়া লইতে হইবে। দ্বিতীয়ত, প্রত্যেকবার আধান-পরীক্ষককে তড়িৎবীক্ষণ হইতে সমান দূরে রাখিতে হইবে। তাছাড়া একটির পরিবর্তে কয়েকটি আধান-পরীক্ষক লইয়া পরীক্ষা করা উচিত। ঐ আধান-পরীক্ষকগুলির চাকতির ক্ষেত্রফল সব সমান হইবে কিন্তু এমনভাবে বাঁকানো থাকিবে যাহাতে পরিবাহীর বিভিন্ন অংশের বক্রতা অনুযায়ী উহারা পরিবাহীর গায়ে ঠিকভাবে আঁটিয়া বসে।



চিত্র 1·18

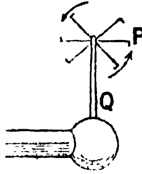
1·19. **তীক্ষ্ণাগ্র পরিবাহীর ক্রিয়া** (Action of points): আমরা দেখিলাম, পরিবাহীর তীক্ষ্ণাগ্র প্রান্তে আধান বেশী পরিমাণ জমা হয়। যদি প্রান্ত খুবই তীক্ষ্ণাগ্র হয় তবে খুব অল্প জায়গায় বেশী পরিমাণ আধান জমা হইবার ফলে তীক্ষ্ণাগ্র প্রান্তের চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ুকণাগুলি আবেশের দরুন বিপরীত আধান কর্তৃক আহিত হয়। বায়ুকণাগুলির ও তীক্ষ্ণাগ্র প্রান্তের আধান বিপরীত জাতীয় বলিয়া উহাদের ভিতর আকর্ষণ ক্রিয়া করে এবং বায়ুকণাগুলি তীক্ষ্ণাগ্র প্রান্তের উপর গিয়া পড়ে। ইহাতে বায়ুকণাগুলি ক্ষণকালের জন্য নিস্তড়িৎ হয় এবং পরিবাহীরও কিছু তড়িৎ নষ্ট হয়। এইভাবে তীক্ষ্ণাগ্র প্রান্ত ক্রমশ তড়িৎ হারায়। ইহাকে **তড়িৎমোক্ষণ** (electric discharge) বলে। সুতরাং, **কোন আহিত পরিবাহীর আধান ধরিয়া রাখিতে হইলে পরিবাহীর আকার গোল করিতে হইবে।** বায়ুকণাগুলি নিস্তড়িৎ হইবার পর পরিবাহীর সংস্পর্শের দরুন পরিবাহীর সমতড়িৎ প্রাপ্ত হয় এবং বিকর্ষিত হইয়া পরিবাহী হইতে দূরে সরিয়া যায়। নিম্নবর্ণিত কয়েকটি সুন্দর পরীক্ষাদ্বারা তীক্ষ্ণাগ্র পরিবাহীর উপরোক্ত ক্রিয়া প্রদর্শন করানো যাইতে পারে।

(1) **তড়িৎবাত্যা** (Electric wind): A একটি সূচীমুখ পরিবাহী। পরিবাহীর সূচীমুখের সম্মুখে একটি মোমবাতির শিখা অবস্থিত। পরিবাহী নিস্তড়িৎ হইলে, শিখা খাড়া থাকিবে। কিন্তু পরিবাহীকে তড়িৎযন্ত্র কর্তৃক তীব্র তড়িতে আহিত করিলে শিখা হেলিয়া পড়িতেছে দেখা যাইবে (1·19 নং চিত্র)। ইহার কারণ, সূচীমুখ হইতে তড়িৎ-মোক্ষণ হয় এবং চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ুকণাগুলি সূচীমুখের উপর পড়িয়া সমজাতীয় তড়িৎ কর্তৃক আহিত হয় ও সূচীমুখের তড়িৎ দ্বারা বিকর্ষিত হইয়া প্রবাহের সৃষ্টি করে। কাছাকাছি নিস্তড়িৎ বায়ুকণাগুলিও তখন ঐ স্রোতের মুখে পড়িয়া প্রবাহের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং প্রবল বায়ুপ্রবাহের সৃষ্টি করে। মোমবাতির শিখা এই বায়ুপ্রবাহের ধাক্কায় হেলিয়া পড়ে; এই ধরনের প্রবাহকে তড়িৎবাত্যা বলে।



চিত্র 1·19

(2) **তড়িৎচক্র** (Electric whirl) : P একটি ধাতুনির্মিত চক্র। চক্রের প্রত্যেক বাহুর শেষপ্রান্ত একই দিকে বাঁকানো। চক্রটি Q-ধাতব দণ্ডের উপর এমনভাবে বসানো যে, সহজে চক্রাকারে ঘুরিতে পারে (1·20 নং চিত্র)। এইবার চক্রকে তীব্রভাবে আহিত করিলে দেখা যাইবে, উহা চক্রাকারে ঘুরিতেছে (তীরচিহ্ন দ্বারা ইহার ঘুরিবার দিক নির্দেশ করা হইয়াছে)। এইরূপ ঘুরিবার কারণ কি?

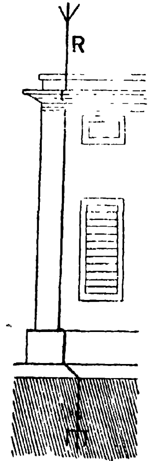


চিত্র 1·20

তীব্র তড়িতাহিত হইবার ফলে চক্রের প্রত্যেক সূচীমুখ হইতে তড়িৎমোক্ষণ হইয়া পূর্বোক্ত প্রণালী অনুযায়ী বায়ুকণাগুলিকে সমজাতীয় তড়িতে আহিত করে। বায়ুকণাগুলি তখন বিকর্ষিত হইয়া সূচীমুখ হইতে দূরে প্রবাহিত হইয়া যায়। এই প্রবাহের প্রতিক্রিয়ার ফলে চক্র ঘুরিতে থাকে।

1·20. **বজ্রবহ** (Lightning conductor) : বাড়ীর উপর বাজ পড়িলে সাধারণত বাড়ীর কোন সুউচ্চ অংশে বজ্রপাত হয় এবং যে-পথে রোধ সর্বাপেক্ষা কম সেইপথে তীব্র তড়িৎ-প্রবাহ ঘটে। ইহাতে প্রচুর উত্তাপের সৃষ্টি হয় এবং এই তাপ বাড়ীর গাঁথুনীর ভিতর যে জলীয় পদার্থ থাকে তাহাকে স্টীমে পরিণত করে। স্টীমের উচ্চ-চাপে বাড়ীতে ফাটল ধরিয়া যায়। বজ্রপাতের ফলে অট্টালিকা বা উঁচু বাড়ী যাহাতে এইভাবে ক্ষতিগ্রস্ত না হয় তাহার জন্য বজ্রবহ ব্যবহার করা হয়। একটি পুরু তামার পাত (R) বাড়ীর গা বাহিয়া আটকানো থাকে। এই পাতের উপর-প্রান্ত অট্টালিকার উচ্চতম অংশ হইতে আরো খানিকটা উঁচুতে রাখা হয় এবং নিম্নপ্রান্ত মাটিতে গভীরভাবে পুঁতিয়া রাখা হয় (1·21 নং চিত্র)। পাতের উপরপ্রান্তে কয়েকটি সূচীমুখ (pointed ends) থাকে। বজ্রবহকে **বজ্রনিবারকও** (lightning arrester) বলা হয়।

যখন কোন তড়িৎগ্রস্ত মেঘ গৃহের উপরে আসে তখন উহা R-পাতের সূচীমুখে বিপরীত আধান আবিষ্ট করে এবং অপরপ্রান্তে সমতড়িৎ আবিষ্ট করে; কিন্তু ঐ প্রান্ত মাটিতে পোঁতা থাকে বলিয়া ঐ আবিষ্ট সমতড়িৎ মাটিতে চলিয়া যায়। পাতের উপরপ্রান্ত সূচীমুখ বলিয়া ঐ স্থানে আধান বেশী পরিমাণে জমা হয় এবং সূক্ষ্মমুখ দিয়া আস্তে আস্তে আধান নির্গত (leak) হয়। বায়ুকণাগুলি ঐ আধান পাইয়া মেঘের বিপরীত আধান কর্তৃক আকর্ষিত হইয়া মেঘের দিকে ধাবিত হয় এবং মেঘের আধানকে প্রশমিত করে। সুতরাং মেঘের ও ভূ-পৃষ্ঠের ভিতর বিভবপ্রভেদ বৃদ্ধি পাইতে পারে না ও বজ্রপাতেরও ভয় থাকে না।



চিত্র 1·21

ভাল বজ্রনিবারকের নিম্নলিখিত গুণগুলি থাকা প্রয়োজন :—

(1) তড়িৎ মোক্ষণের ফলে যে-তাপ সৃষ্টি হয় তাহাতে তামার পাত গলিবে না।

(2) পাতের উপরপ্রান্ত সূচাগ্র বা কতকগুলি সূচীমুখের সমষ্টি করা প্রয়োজন।

(3) সূচীমুখ হইতে মাটি পর্যন্ত পাতটি একটানা হওয়া প্রয়োজন—মাঝখানে কাটা থাকিলে চলিবে না। মাটিতে উহাকে গভীরভাবে প্রোথিত করা দরকার।

ইস্পাতের ফ্রেম নির্মিত বাড়ী, বজ্রবহ-যুক্ত গৃহ, মাটি সংলগ্ন ধাতব ছাদযুক্ত গাড়ী অথবা চালাঘর ইত্যাদি বজ্র-বিদ্যুতের সময় নিরাপদ আশ্রয়স্থল। তারের জাল, বিচ্ছিন্ন উঁচু গাছ, দেওয়াল, টেলিগ্রাফ বা টেলিফোন পোস্ট ইত্যাদি ঐ সময় খুবই বিপদজনক।

একথা মনে রাখিতে হইবে যে, বজ্রপাত ও বজ্রনাদ একই সময়ে হয়। কিন্তু শব্দের গতিবেগ আলোর গতিবেগ অপেক্ষা অনেক কম বলিয়া বাজ পড়িলে শব্দ আসিতে বেশ খানিকটা সময় লাগে। এই কারণে বজ্রনাদ শুনিলে বজ্রাহত হইবার ভয় থাকে না, এইরূপ একটি প্রবাদ বাক্য প্রচলিত আছে। কারণ, বজ্রপাতে মৃত্যু ঘটিলে তাহা সঙ্গে সঙ্গে হয়। বজ্রনাদ শুনিবার আর সময় থাকে না।

Exercises

1. 'তড়িতাহিতকরণ' কাহাকে বলে? স্থির তড়িৎ কি?

2. তড়িৎবীক্ষণ কাহাকে বলে? একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। ঐ যন্ত্রকে পরিবহন প্রণালীতে তড়িতাহিত করিবে কিরূপে?

[*H. S. Exam. 1962*]

3. পরিবাহী ও অন্তরক কাহাকে বলে? উদাহরণ সহযোগে ব্যাখ্যা কর।

[*cf H. S.* (*Comp*). *1963*]

4. একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ নির্মাণ প্রণালী বর্ণনা কর। তোমাকে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ, একটি এবোনাইট-দণ্ড ও কিছু পশম দেওয়া হইল। ইহাদের সাহায্যে কিরূপে অন্য একটি দণ্ডে (*a*) তড়িতাধানের অস্তিত্ব এবং (*b*) তড়িতাধানের প্রকৃতি নির্ণয় করিবে?

5. ইলেকট্রন কাহাকে বলে? তড়িতাহিতকরণের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব বর্ণনা কর। এই তত্ত্বের দ্বারা ঘর্ষণজাত তড়িতের ব্যাখ্যা কর। [*cf H. S.* (*Comp*). *1963*]

6. তড়িতাহিত বস্তু বলিতে কি বোঝ? পদার্থের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুযায়ী দুই প্রকার তড়িতের ব্যাখ্যা করিবে কিরূপে? পরিবাহী ও অন্তরকের ভিতর পার্থক্য বর্ণনা কর এবং ইলেক্-ট্রনীয় তত্ত্ব অনুযায়ী উহাদের ব্যবহারের ব্যাখ্যা কর। একটি ধাতবদণ্ডকে হাতে ধরিয়া রাখিলে ঘর্ষণদ্বারা তড়িৎগ্রস্ত করা যায় না কেন? ধাতবদণ্ডকে তড়িতাহিত করিবার জন্য তুমি কি করিবে?

[*H. S. Exam,1969*]

7. তড়িতাবেশ কাহাকে বলে? পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর যে আবিষ্ট বস্তুর নিকটতম প্রান্তে আবেশী আধানের বিপরীত আধান এবং দূরতম প্রান্তে সম আধান আবিষ্ট হয়।

[*cf H. S. Exam. 1961*]

8. বদ্ধ এবং মুক্ত আধান কাহাকে বলে? উহাদের ঐরূপ নাম দেওয়া হইয়াছে কেন? পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর যে আবেশের ফলে একই সঙ্গে সমপরিমাণে উভয় তড়িৎ উৎপন্ন হয়।

[*H. S. Exam. 1961 of. '64*]

9. ফ্যারাডের বরফ-পাত্র পরীক্ষা বর্ণনা কর। এই পরীক্ষা দ্বারা যে ফলাফল পাওয়া যায় তাহা উল্লেখ কর।

10. উপরের মুখে ছিদ্র সহ একটি অনাহিত ধাতব-বাক্স স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণের চাকতির উপর রাখা আছে। একটি অন্তরিত ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত পরিবাহীকে ঐ ছিদ্র দিয়া বাক্সের ভিতর ঢুকাইলে নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের কিরূপ ব্যবহার লক্ষিত হইবে তাহার বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর :—(*a*) বাক্সটিকে ক্ষণকালের জন্য মাটির সহিত যুক্ত করা হইল এবং পরিবাহীটিকে সরাইয়া লওয়া হইল, (*b*) বাক্সটিকে মাটির সহিত যুক্ত করা হইল কিন্তু পরিবাহীটিকে বাক্সের সহিত স্পর্শ করাইবার পর সরাইয়া লওয়া হইল।

11. একটি তীব্র তড়িতাহিত বস্তু অপর একটি ক্ষীণ কিন্তু সমতড়িতাহিত বস্তুকে আকর্ষণ করিতে পারে। ইহা কিরূপে সম্ভব তাহা ব্যাখ্যা কর। [*H. S.* (*Comp*) *1965*]

12. একটি অন্তরিত আসনের উপর একটি পরিবাহী *A* আছে এবং ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত একটি বস্তু *B* আছে। *B*-এর সাহায্যে *A* পরিবাহীকে কিরূপে (i) ধনাত্মক এবং (ii) ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করিবে? একটি তড়িতাহিত এবোনাইট দণ্ডকে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের চাকতির সহিত স্পর্শ করানো হইল। পত্রদ্বয় বিস্ফারিত হইল। কিন্তু দণ্ডকে সরাইয়া লইলে, পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ সামান্য হ্রাস পাইল। ইহা ব্যাখ্যা কর। [*H. S.* (*Comp*). *1961*]

13. আবেশ সম্পূর্ণ হইলে আবিষ্ট আধান ও আবেশী আধান সমান হয়, তাহা কিরূপে প্রমাণ করিবে? [*cf H. S.* (*Comp*). *1966*]

14. আবেশ পদ্ধতির দ্বারা একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে কিরূপে আহিত করিবে?

[*H. S. Exam. 1962*]

15. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কি ঘটনা ঘটিবে বর্ণনা কর :—(*a*) একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত দণ্ডকে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের চাকতির সম্মুখে ধরা হইল। (*b*) চাকতিকে ক্ষণকালের জন্য হাত দিয়া স্পর্শ করা হইল। (*c*) আহিত দণ্ডকে পরে সরাইয়া লওয়া হইল।

16. একটি এবোনাইট দণ্ড ও পশম দ্বারা কি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় প্রকার তড়িতে আহিত করা যায়?

17. তীব্র ঋণাত্মক তড়িতে আহিত একটি দণ্ডকে ধনাত্মক তড়িতাহিত একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণের চাকতির খুব কাছে আনা হইল। তড়িৎবীক্ষণের পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণের প্রকৃতি কি হইবে (*a*) বহুদূর হইতে দণ্ডকে ধীরে ধীরে চাকতির কাছে আনা হইলে, (*b*) বহুদূর হইতে দ্রুত চাকতির কাছে আনা হইলে।

18. 'আহিত পরিবাহীর আধান সর্বদা পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে'—উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে উপরোক্ত উক্তির ব্যাখ্যা কর। [*H. S. Exam. 1964*]

19. একটি গভীর ধাতুপাত্রকে তড়িতাহিত করা হইল। একটি আধান পরীক্ষককে পাত্রের ভিতরের দেওয়াল স্পর্শ করাইয়া একটি তড়িৎবীক্ষণের সম্মুখে ধরা হইল। কি ঘটিবে তাহা কারণসহ ব্যাখ্যা কর।

20. যে পরিবাহী বহুক্ষণ যাবৎ তড়িতাধান ধরিয়া রাখিবে তাহার আকার গোল করা হয়—কেন? 'তীক্ষ্ণাগ্র পরিবাহীর ক্রিয়া' প্রদর্শনের জন্য কয়েকটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

21. অসম আকৃতির একটি ফাঁপা ধাতব বস্তুর গায়ে একটি ছিদ্র আছে। বস্তুকে তড়িতাহিত করিয়া একটি অন্তরক আসনের উপর বসানো আছে। একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ ও একটি আধান-পরীক্ষকের সাহায্যে তুমি বস্তুটির আধান বন্টন পরীক্ষা করিতেছ। তড়িৎবীক্ষণের বিস্ফারণের কি পরিবর্তন হইবে যখন আধান পরীক্ষক নিম্নলিখিত স্থান হইতে আধান সংগ্রহ করিবে :—(a) তলের চ্যাপ্টা অংশ হইতে, (b) তলের তীক্ষ্ণাগ্র অংশ হইতে, (c) বস্তুর অভ্যন্তর হইতে। *[H. S. Exam. 1963]*

22. 1cm. ব্যাসার্ধের একটি গোলাকার ফাঁপা পরিবাহীকে 6·28 একক তড়িতাধান দেওয়া হইল। উহার বাহিরের এবং ভিতরের পৃষ্ঠের তলমাত্রিক ঘনত্ব নির্ণয় কর।

[[Ans. 0·5 একক প্রতি বর্গ সে.মি., 0]

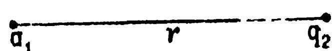
23. বজ্রপাত কখন হয়? বজ্রপাত হইতে অট্টালিকা কিরূপে রক্ষা করা হয়? বজ্রবিদ্যুতের সময় কি ধরনের আশ্রয়স্থল নিরাপদ ও কি ধরনের আশ্রয়স্থল বিপদ্‌জনক বলিয়া মনে কর?

24. স্থির তড়িতের ঘটনায় 'তীক্ষ্ণাগ্র পরিবাহীর ক্রিয়া' বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর এবং উহা একটি বাস্তব ক্ষেত্রে কিরূপে প্রদর্শন করানো যায় বর্ণনা কর। 'বিদ্যুৎ-চমক' কাহাকে বলে? বিদ্যুৎ-চমকজনিত তড়িৎমোক্ষণ হইতে বজ্রনিবারক কিরূপে অট্টালিকাকে রক্ষা করে? *[H. S (Comp). 1962]*

তড়িৎ ক্ষেত্র ও তড়িৎ বিভব

(Electric field and electric potential)

2·1 **দুইটি তড়িতাধানের মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ বল : কুলম্বের নিয়ম** (Force of attraction or repulsion between two electric charges : Coulomb's law) : সমতড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে ও বিষম-তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে, ইহা আমরা জানি। তড়িতের এই আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের পরিমাণ সর্বপ্রথম বিজ্ঞানী কুলম্ব নির্ণয় করেন 1777 খ্রীষ্টাব্দে। এই সম্পর্কিত নিয়মকে **বলা হয় কুলম্বের নিয়ম।** এই নিয়মানুযায়ী দুইটি তড়িতাধানের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল আধানের গুণফলের সমানুপাতিক এবং উহাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।



চিত্র 2·1

মনে কর, 'r' দূরত্বে q_1 এবং q_2 দুইটি তড়িতাধান রাখা আছে (2·1 নং চিত্র)। যদি উহাদের পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল F ধরা যায় তবে, কুলম্বের নিয়ম হইতে আমরা লিখিতে পারি,

$$F \propto q_1 \cdot q_2 \text{ এবং } F \propto \frac{1}{r^2} \text{ অর্থাৎ, } F \propto \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \text{ অথবা, } F = \frac{1}{K} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

এস্থলে $\frac{1}{K}$ হইতেছে আনুপাতিক ধ্রুবক (constant of proportionality)।

K ধ্রুবকের মান মাধ্যমের উপর নির্ভর করে এবং ইহাকে বলা হয় **পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক** (dielectric constant) বা মাধ্যমের **ভেদন যোগ্যতা** (premittivity)।

বায়ুমাধ্যমে (প্রকৃতপক্ষে শূন্য মাধ্যমে) $K=1$ ধরা হয়। অতএব, বায়ুমধ্যে দুইটি বিন্দু তড়িতাধান q_1 এবং q_2 পরস্পর হইতে r দূরে থাকিলে, উহাদের ভিতর আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল, $F = \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

2·2. **আধানের স্থির-তড়িৎ একক** (Electrostatic unit of charge) :

$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ সমীকরণ হইতে আমরা আধানের স্থির-তড়িৎ একক গঠন করিতে পারি।

যদি $F=1$ dyne, $r=1$ cm. এবং $q_1=q_2=q$ (ধর) হয়, তবে $q^2=1$ অথবা $q=\pm 1$

সংজ্ঞা : যদি এক জাতীয় সমপরিমাণ আধানযুক্ত দুইটি বস্তুবিন্দু বায়ুমধ্যে 1 সে.মি. দূরে অবস্থিত থাকিয়া পরস্পরের প্রতি 1 ডাইন বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে তবে প্রত্যেক বস্তুবিন্দুর আধানকে **একক আধান** (unit charge) বলা হইবে।

এই একক-কে সি, জি, এস, স্থির-তড়িৎ একক (electrostatic unit অথবা সংক্ষেপে e.s.u.) বলা হয়।

আধানের স্থির-তড়িৎ একক ছাড়া আর একটি একক আছে। ইহাকে **তড়িৎচুম্বকীয় একক** (electro-magnetic unit বা সংক্ষেপে e. m. u.) বলে। এই একক তড়িৎ-প্রবাহের চুম্বকীয় ফলের উপর প্রতিষ্ঠিত (প্রবাহী তড়িৎ-বিজ্ঞান দ্রষ্টব্য)। তাছাড়া সদাসর্বদা ব্যবহারের জন্য আধানের একটি ব্যবহারিক এককও আছে। ইহার নাম **কুলম্ব** (coulomb)। নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলি মনে রাখিবে :

1 ই, এম, ইউ, তড়িতাধান $=3\times10^{10}$ ই, এস, ইউ, তড়িতাধান

1 ই, এম, ইউ, তড়িতাধান $=10$ কুলম্ব,

অথবা, 1 কুলম্ব $=3\times10^{9}$ ই, এস, ইউ, তড়িতাধান

Examples (1) একটি ইলেকট্রনের তড়িতাধানের পরিমাণ $4{\cdot}65\times10^{-10}$ ই. এস. ইউ.। উহা ই. এম. ইউ. এবং কুলম্বে কত হইবে?

উ। আমরা জানি, 3×10^{10} ই. এস. ইউ. $=1$ ই. এম. ইউ.; কাজেই,

$$4{\cdot}65\times10^{-10}\text{ ই. এস. ইউ.}=\frac{4{\cdot}65\times10^{-10}}{3\times10^{10}}=1{\cdot}55\times10^{-20}\text{ ই. এম.}$$

অর্থাৎ, ইলেকট্রনের তড়িতাধান $=1{\cdot}55\times10^{-20}$ ই. এম. ইউ.

আবার, 3×10^{9} ই. এস. ইউ. $=1$ কুলম্ব

$$\therefore\ 4{\cdot}65\times10^{-10}\ \text{,,}\ =\frac{4{\cdot}65\times10^{-10}}{3\times10^{9}}=1{\cdot}55\times10^{-19}\text{ কুলম্ব}$$

অর্থাৎ, ইলেকট্রনের তড়িতাধান $=1{\cdot}55\times10^{-19}$ কুলম্ব।

(2) 32 একক এবং 36 একক-এর দুইটি বিন্দু তড়িতাধান বায়ুমধ্যে পরস্পর হইতে 12 সে.মি. দূরে অবস্থিত আছে। উহাদের ভিতর কত বল ক্রিয়া করিবে?

উ। আমরা জানি, $F=\dfrac{q_1q_2}{r^2}$

এক্ষেত্রে, $q_1=32$ একক; $q_2=36$ একক; $r=12$ সে.মি.

অতএব, $F=\dfrac{32\times36}{(12)^2}=8$ ডাইন।

(3) দুইটি তড়িতাধান, একটি অপরটি অপেক্ষা 20 গুণ শক্তিশালী—বায়ুমধ্যে 10 সে.মি. দূরে থাকিয়া পরস্পরের উপর 250 মিলিগ্রাম-ভার বল প্রয়োগ করে। প্রত্যেক তড়িতাধানের মান নির্ণয় কর।

উ। এক্ষেত্রে, $F=250$ মিলিগ্রাম-ভার $=\dfrac{250}{1000}\times980=\dfrac{25\times98}{10}$ ডাইন

ধর, একটি আধানের পরিমাণ$=q$; কাজেই অপরটির পরিমাণ$=20q$.

এখন, আমরা জানি, $F=\frac{q_1q_2}{r^2}$

এক্ষেত্রে, $F=\frac{25\times98}{10}$ ডাইন; $q_1=q$; $q_2=20q$; $r=10$ সে.মি.

কাজেই, $\frac{25\times98}{10}=\frac{20q\times q}{10\times10}$ অথবা, $q^2=25\times49$

$\therefore\ q=5\times7=\underline{35}$ একক; কাজেই অপরটি $=35\times20=\underline{700}$ একক।

(4) মনে কর, তোমার কাছে সমতড়িতাধান-যুক্ত অনেকগুলি বস্তুবিন্দু আছে। যে-কোন দুইটি বস্তুবিন্দু পরস্পর হইতে 10 সে.মি. দূরে থাকিয়া 3×10^{-5} ডাইন বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে। এখন, উহাদের মধ্যে একটি বস্তুবিন্দু একগুচ্ছ বস্তুবিন্দু হইতে 10 সে.মি. দূরে থাকিয়া 6×10^{-1} ডাইন বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করিলে, ঐ গুচ্ছে কয়টি বস্তুবিন্দু আছে নির্ণয় কর।

উ। মনে কর, প্রতি বস্তুবিন্দুতে q একক তড়িতাধান আছে। অতএব দুইটি বস্তুবিন্দুর বেলাতে লিখিতে পারি, $3\times10^{-5}=\frac{q\times q}{(10)^2}$ $\therefore\ q^2=3\times10^{-3}$

এখন ধর, বস্তুবিন্দুর গুচ্ছে 'n' সংখ্যক বস্তুবিন্দু আছে। অতএব,

$$6\times10^{-1}=\frac{q\times nq}{(10)^2}\ \text{or,}\ n=\frac{6\times(10)^{-1}\times(10)^2}{q^2}$$

$$\therefore\ n=\frac{6\times(10)^{-1}\times(10)^2}{3\times(10)^{-3}}=\underline{20000}.$$

2.3. তড়িৎ ক্ষেত্র (Electric field): কোন তড়িতাধানের চতুর্দিকে যে অঞ্চলে অন্য কোন ক্ষুদ্র তড়িতাধান আনিলে উহা প্রথম আধান কর্তৃক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল অনুভব করিবে সেই অঞ্চলকে প্রথমোক্ত তড়িতাধানের ক্ষেত্র বলা হয়।

গণিতের হিসাবে এই ক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত কিন্তু কার্যত দেখা যায় নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে; তাহার পর আর বিশেষ কোন বল অনুভূত হয় না।

ক্ষেত্রের তীব্রতা বা প্রাবল্য (Intensity of the field): তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে ধনাত্মক একক আধান (unit positive charge) রাখিলে উহা যে-বল অনুভব করে তাহাকে ঐ বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্রের তীব্রতা বলা হয়। উক্ত একক আধান যে অভিমুখে বল অনুভব করিবে তাহাই হইবে ঐ বিন্দুতে তীব্রতার অভিমুখ। সি. জি.. এস্ পদ্ধতিতে তীব্রতার একক 'ডাইন'।

মনে কর, k পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক সম্পন্ন কোন মাধ্যমে 'q' ই. এস্. ইউ. আধান হইতে r সে.মি. দূরে একটি বিন্দু লওয়া হইল। ঐ বিন্দুতে ধনাত্মক একক আধান রাখিলে কুলম্বের

সূত্রানুযায়ী ঐ একক আধান যে-বল অনুভব করিবে তাহা $F=\frac{q\times 1}{kr^2}=\frac{q}{kr^2}$ ডাইন। সুতরাং ঐ বিন্দুতে ক্ষেত্র-তীব্রতা $E=\frac{q}{kr^2}$, শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে $k=1$ হওয়ায়, ঐ মাধ্যমে ক্ষেত্র-তীব্রতা $E=\frac{q}{r^2}$

ইহা হইতে বোঝা যায় ক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে তীব্রতার পরিমাণ বিভিন্ন। এখন, কোন বিন্দুতে ক্ষেত্রের তীব্রতা E হইলে, ঐ বিন্দুতে রক্ষিত q_1 আধান যে-বল অনুভব করিবে তাহা যদি F ধরা হয় তবে $F=Eq_1$ ডাইন।

Examples : (1) পরস্পর হইতে 12 সে.মি. দূরে অবস্থিত +30 এবং +60 একক দুইটি তড়িতাধানের ঠিক মধ্যস্থলে তড়িৎক্ষেত্রের তীব্রতা কত হইবে?

উ। আধান দুইটির দূরত্ব 12 সে.মি. হওয়ায় উহাদের ঠিক মধ্যবর্তী বিন্দুর দূরত্ব প্রত্যেক আধান হইতে 6 সে.মি.।

এখন, 6 সে.মি. দূরের বিন্দুতে +30 একক আধানের জন্য তীব্রতা $=\frac{30}{(6)^2}$ এবং ইহার অভিমুখ +60 একক আধানের দিকে।

আবার, 6 সে.মি. দূরের বিন্দুতে +60 একক আধানের জন্য তীব্রতা $=\frac{60}{(6)^2}$ এবং ইহার অভিমুখ +30 একক আধানের দিকে।

এই দুই তীব্রতা একই বিন্দুতে কিন্তু একই সরলরেখা বরাবর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করায় ঐ বিন্দুতে লব্ধ তীব্রতা $=\frac{60}{(6)^2}-\frac{30}{(6)^2}=\frac{30}{(6)^2}=0{\cdot}88$ ডাইন এবং ইহার অভিমুখ +30 একক আধানের দিকে।

(2) +4 এবং +9 একক-এর তড়িতাধান পরস্পর হইতে 10 সে.মি. দূরে রাখা আছে। উহাদের যোগ করিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তাহার উপর দুইটি বিন্দু নির্ধারণ কর যেখানে একটি একক ধনাত্মক আধান (i) সমান কিন্তু বিপরীতমুখী বল অনুভব করিবে, (ii) সমান কিন্তু সমমুখী বল অনুভব করিবে।

উ। (i) একক ধনাত্মক তড়িতাধানের উপর প্রযুক্ত বল সমান ও বিপরীত মুখী হইতে হইলে বিন্দুটি +4 এবং +9 আধান দুইটির মধ্যে কোথাও অবস্থিত হইবে, কারণ, উহারা উভয়েই ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত।

মনে কর, +4 আধান হইতে বিন্দুর দূরত্ব x সে.মি. ; অতএব, অপর আধান হইতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব হইবে $(10-x)$ সে.মি.

এখন, প্রশ্নানুযায়ী, $\frac{4}{x^2}=\frac{9}{(10-x)^2}$ or $\frac{2}{x}=\frac{3}{(10-x)}$

or, $20-2x=3x$ $\therefore$ $x=4$ সে. মি.

অর্থাৎ, বিন্দুটি +4 আধান হইতে 4 সে মি. দূরে অথবা +9 আধান হইতে 6 সে. মি. দূরে অবস্থিত হইবে।

(ii) একক ধনাত্মক আধানের উপর প্রযুক্ত বল সমান ও সমমুখী হইতে হইলে বিন্দুটি দুইটি আধানের একই দিকে থাকিবে এবং +4 আধান হইতে বিন্দুর দূরত্ব +9 আধান হইতে দূরত্ব অপেক্ষা কম হইতে হইবে।

মনে কর, +4 আধান হইতে বিন্দুর দূরত্ব x সে মি ; অতএব, অপর আধান হইতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব হইবে $(10+x)$ সে. মি.।

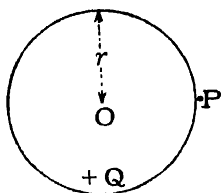
এখন প্রশ্নানুযায়ী, $\frac{4}{x^2}=\frac{9}{(10+x)^2}$ or, $\frac{2}{x}=\frac{3}{10+x}$

or, $20+2x=3x$ $\therefore$ $x=20$ সে. মি.।

অর্থাৎ, বিন্দুটি +4 আধানের বাম দিকে 20 সে.মি. দূরে থাকিলে অপর আধানেরও বাম দিকে থাকিবে এবং দূরত্ব হইবে 30 সে. মি.।

2·4 তড়িতাহিত পরিবাহীর নিকটবর্তী বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য (Electric intensity at a point near a charged conductor) :

ধর, r ব্যাসার্ধের একটি গোলককে বায়ুতে রাখিয়া +Q পরিমাণ তড়িত দেওয়া হইল [চিত্র 2·2]। এখন গোলকের খুব নিকটবর্তী একটি বিন্দু P-তে ক্ষেত্র-প্রাবল্য বলিতে আমরা বুঝি যে P-বিন্দুতে রক্ষিত একটি ধনাত্মক একক আধান গোলকের কেন্দ্রবিন্দু O-তে কেন্দ্রীভূত +Q তড়িতাধানের জন্য যে-বল অনুভব করিবে তাহা কারণ প্রমাণ করা যায় যে কোন বহির্বিন্দুতে প্রাবল্য নির্ণয়ের ক্ষেত্রে গোলকের তড়িতাধান গোলকের কেন্দ্রে জমা করা আছে বলিয়া মনে করা যাইতে পারে। এখন, +Q তড়িতাধান এবং +1 তড়িতাধানের দূরত্ব এক্ষেত্রে গোলকের ব্যাসার্ধের সমান ধরা যাইতে পারে। সুতরাং প্রাবল্য $F=\frac{Q\times 1}{r^2}=\frac{Q}{r^2}$



চিত্র 2·2

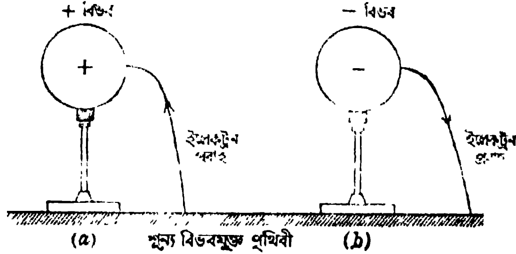
এখন গোলকের তলমাত্রিক ঘনত্ব σ হইলে, $\sigma=\frac{Q}{4\pi r^2}$ অথবা $Q=4\pi r^2\sigma$

অতএব, $F=\frac{4\pi r^2\sigma}{r^2}=4\pi\sigma.$

ক্ষেত্রপ্রাবল্যের উপরোক্ত রাশিমালাতে গোলকের ব্যাসার্ধ নাই; শুধু গোলকের তলমাত্রিক ঘনত্ব আছে। সুতরাং উপরোক্ত রাশিমালা যে-কোন তড়িতাহিত পরিবাহীর ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যাইতে পারে। (অতএব আমরা বলিতে পারি যে, কোন তড়িতাহিত পরিবাহীর নিকটবর্তী বায়ুমধ্যস্থিত কোন বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য পরিবাহীর ঐ বিন্দুর নিকটবর্তী অংশের তলমাত্রিক ঘনত্বের 4π গুণ। ইহাকে কুলম্বের উপপাদ্য বলে।)

[দ্রঃ গোলকের পরিবর্তে যে-কোন আকারের পরিবাহী লইয়া কুলম্ব উপপাদ্যের কঠিনতর প্রমাণের জন্য উচ্চস্তরের পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

2·5 তড়িতাহিত বস্তুর বিভব (Potential of a charged body) : তড়িতাহিত বস্তুকে পরিবাহী তার দিয়া ভূসংলগ্ন করিলে যদি ইলেকট্রন ভূমি হইতে তড়িতাহিত বস্তুতে চলিয়া আসে, তবে ঐ বস্তুর বিভব ধনাত্মক [চিত্র 2·3 (a)]। বিপরীতক্রমে, যদি ইলেকট্রন তড়িতাহিত বস্তু হইতে ভূমিতে চলিয়া যায় তবে ঐ বস্তুর বিভব ঋণাত্মক [চিত্র 2·3(b)]। বলা

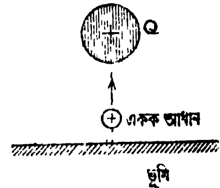


চিত্র 2·3

বাহুল্য, এই সংজ্ঞায় পৃথিবীকে শূন্য-বিভবযুক্ত বলিয়া ধরা হইয়াছে (পরবর্তী অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। বস্তুর বিভব ধনাত্মক হইলে, ভূসংলগ্ন করিবার ফলে, ইলেকট্রন ভূমি হইতে বস্তুতে প্রবাহিত হইয়া বস্তুর বিভব শূন্য করিবে ; আবার, বস্তুর বিভব ঋণাত্মক হইলে, বস্তু হইতে ভূমিতে ইলেকট্রনের প্রবাহ হইয়া বস্তুর বিভব শূন্য করিবে। এইজন্য বলা হয় যে, যে-কোন প্রকার তড়িৎগ্রস্ত বস্তুকে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করিলে, বস্তুর বিভব শূন্য হয়।

কোন তড়িতাহিত বস্তুর বিভব পরিমাপ করিতে হইলে একটি একক ধনাত্মক তড়িতাধানকে ভূমি হইতে ঐ বস্তুর খুব নিকটে আনিতে হইবে এবং উহাতে যে কার্য সম্পাদিত হইবে অথবা বস্তুতে যে-পরিমাণ স্থিতিশক্তি সঞ্চিত হইবে [চিত্র নং 2·4] তাহাই হইবে ঐ বস্তুর তড়িৎ-বিভবের পরিমাপ।

যদি বস্তুর তড়িতাধান Q ধনাত্মক হয়, তবে একক ধনাত্মক আধানকে বস্তুর নিকটে আনিলে, বস্তুতে শক্তি সঞ্চিত হইবে এবং সেক্ষেত্রে বস্তুর বিভব V ধনাত্মক ; আর যদি Q ঋণাত্মক হয়, তবে একক ধনাত্মক আধানকে বস্তুর নিকটে আনিলে, বস্তু শক্তি নির্গত করিবে এবং সেক্ষেত্রে বস্তুর বিভব V হইবে ঋণাত্মক।



চিত্র 2·4

দুইটি তড়িতাহিত বস্তুর বিভব V_1 এবং V_2 হইলে, উহাদের বিভব-পার্থক্য বলিতে কি বুঝায় ?
একটি একক ধনাত্মক তড়িতাধানকে এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে লইয়া গেলে যে পরিমাণ শক্তি ব্যয়িত হইবে তাহাই হইবে উহাদের বিভব-পার্থক্য $V=V_2-V_1$

যেমন, মোটর গাড়ীর ব্যাটারীর দুই প্রান্তের বিভব-পার্থক্য 12 ভোল্ট বলিতে ইহাই বুঝায় যে 1 কুলম্ব ধনাত্মক তড়িতাধানকে ব্যাটারীর এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে লইয়া গেলে 12 জুল শক্তি ব্যয়িত হইবে। যদি ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্তকে ভূসংলগ্ন করা যায় তবে উহার বিভব হইবে শূন্য এবং ধনাত্মক প্রান্তের বিভব হইবে +12 ভোল্ট ; আর যদি ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরুকে

ভূসংলগ্ন করা হয় তবে উহার বিভব হইবে শূন্য এবং ঋণাত্মক প্রান্তের বিভব হইবে -12 ভোল্ট। উভয় ক্ষেত্রেই বিভব-পার্থক্য হইবে 12 ভোল্ট।

2·6 **পৃথিবীর বিভব শূন্য** (The earth has zero potential) : পৃথিবী নিজে একটি তড়িৎ পরিবাহী। প্রতিনিয়ত বিভিন্ন সূত্র হইতে পৃথিবী নিজে তড়িতাধান লাভ করে; আবার, বিভিন্ন সূত্রে তড়িতাধান সরবরাহও করে। অর্থাৎ, প্রতিনিয়ত পৃথিবীর পক্ষে তড়িতাধানের লাভ ও লোকসান ঘটিতেছে। কিন্তু এই লাভ ও লোকসান প্রায় সমান, তাছাড়া পৃথিবীর আকার এত বিরাট যে সামান্য তড়িতাধান লাভ করিলে বা লোকসান ঘটিলে পৃথিবীর তড়িৎ-বিভবের কিছুমাত্র পরিবর্তন হয় না। এ সম্পর্কে সমুদ্রজলের লেভেলের তুলনা করা যাইতে পারে। সমুদ্রের জলের পরিমাণ এতই বিরাট যে, সমুদ্র হইতে সামান্য জল তুলিয়া লইলে বা সামান্য জল ঢালিলে সমুদ্র-লেভেলের কোন পরিবর্তনই হয় না। এই কারণে উচ্চতা নির্ণয়ে আমরা সর্বদা সমুদ্র-সমতলকে (sea-level) শূন্য উচ্চতাযুক্ত বলিয়া মনে করি এবং উহার পরিপ্রেক্ষিতে অন্যান্য উচ্চতা পরিমাপ করি। ঠিক একই রকম ভাবে পৃথিবীর তড়িৎ-বিভব সর্বদা অপরিবর্তিত থাকে বলিয়া বিভব-পরিমাপের ক্ষেত্রে পৃথিবীকে শূন্য বিভবযুক্ত ধরা হয়। কোন ধনাত্মক বিভবযুক্ত বস্তুর বিভব পৃথিবীর বিভব অপেক্ষা উচ্চ এবং ঋণাত্মক বিভবযুক্ত বস্তুর বিভব পৃথিবীর বিভব অপেক্ষা নিম্ন। কিন্তু যে কোন তড়িতাহিত বস্তুই হউক না কেন, পৃথিবীর সহিত সংযোগ ঘটিলে তৎক্ষণাৎ উহার বিভব শূন্য হইবে।

2·7 **কোন বিন্দুতে বিভব** (Potential at a point) : মনে কর, আমাদের $+q_1$ একটি তড়িতাধান আছে এবং উহার চতুর্দিকে অন্য কোন তড়িতাধান বা কোন বস্তু নাই—অর্থাৎ, ঐ তড়িতাধানটি সর্ববাধামুক্ত। এই অবস্থায় উহাকে সরাইয়া অন্য কোন স্থানে রাখিতে কোন কার্য করিবার প্রয়োজন হইবে না, কারণ, উহার উপর কোন বলই ক্রিয়া করিতেছে না।

এইবার মনে কর, উপরোক্ত $+q_1$ তড়িতাধান আনিবার পূর্বে ঐ অঞ্চলের কোন বিন্দু P-তে $+q$ তড়িতাধান রাখা আছে। এইবার $+q_1$ আধানকে ঐ অঞ্চলে আনিয়া এক স্থান হইতে অন্য স্থানে সরাইতে হইলে কার্য করিবার প্রয়োজন হইবে, কারণ, q_1 তড়িতাধানটি সর্বদা $+q$ তড়িতাধান কর্তৃক বিকর্ষণ বল অনুভব করিবে। যদি $+q_1$ আধানকে $+q$ আধানের নিকটে আনিবার চেষ্টা করা হয় তাহা হইলে বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হইবে; আর $+q$ আধান হইতে দূরে সরাইয়া লইবার চেষ্টা করিলে বিকর্ষণ বল নিজেই কার্য করিবে। তড়িতাধান দুইটি ঋণাত্মক অথবা একটি ঋণাত্মক ও অপরটি ধনাত্মক হইলেও এই ধরনের কার্য করিবার প্রয়োজন হইবে।

সুতরাং দেখা যাইতেছে $+q$ তড়িতাধানের অবস্থিতির ফলে উহার চতুর্দিকস্থ অঞ্চল এমন একটি ধর্ম পায় যাহার ফলে ঐ অঞ্চলে অবস্থিত অন্য কোন তড়িতাধানকে এক স্থান হইতে অন্য স্থানে সরাইতে বা বহুদূর হইতে ঐ অঞ্চলের কোন বিন্দুতে আনিতে সর্বদা কার্য করিবার প্রয়োজন হয়। এই ধর্মকেই **তড়িৎ বিভব** বলা হয়।

সংজ্ঞা : তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে তড়িৎবিভব পরিমাপ করিতে হইলে বহুদূর হইতে একটি একক ধনাত্মক তড়িতাধানকে ঐ বিন্দুতে আনিতে হইবে এবং তাহাতে যে কার্য সম্পাদিত হইবে তাহাই হইবে ঐ বিন্দুর তড়িৎবিভবের পরিমাপ।

ধর, কোন বিন্দু P-এর তড়িৎ বিভব V এবং বহুদূর হইতে $+q$ একক তড়িতাধ বিন্দুতে আনিতে W একক কার্য করিতে হইল। এক্ষেত্রে,

$$V=\frac{W}{q} \quad \text{অথবা,} \quad W=V\times q$$

অর্থাৎ, **সম্পাদিত কার্য = বিভব × তড়িতাধান**

যদি বিভব ও তড়িতাধানকে ই. এস. ইউ. একক-এ প্রকাশ করা হয় তাহা হইলে কার্যকে 'আর্গ' একক-এ প্রকাশ করিতে হইবে।

2·8 **বিভবের একক** (Units of potential) : বহুদূর হইতে 1 ই. এস. ইউ. ধনাত্মক আধানকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিলে যদি সম্পাদিত কার্য 1 আর্গ হয় তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে 1 ই. এস. ইউ. বিভব বলে।

বহুদূর হইতে 1 ই. এম. ইউ. ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিলে যদি সম্পাদিত কার্য 1 আর্গ হয়, তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে 1 ই. এম. ইউ. বিভব বলে।

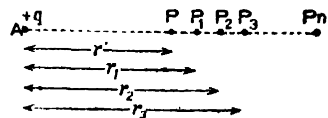
যেহেতু, 1 ই. এম. ইউ. তড়িতাধান $=3\times10^{10}$ ই. এস. ইউ. তড়িতাধান এবং যেহেতু দুই ক্ষেত্রে একই পরিমাণ কার্য সম্পাদিত হইতেছে, সেইহেতু

1 ই. এম. ইউ. বিভব $=\frac{1}{3\times10^{10}}$ ই. এস. ইউ. বিভব।

বিভবের ব্যবহারিক এককের নাম **ভোল্ট** (Volt)। বহুদূর হইতে 1 কুলম্ব ধনাত্মক তড়িতাধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিলে যদি সম্পাদিত কার্য জুল হয়, তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে 1 ভোল্ট বলা হয়।

মনে রাখিবে, 1 ভোল্ট $=\frac{1}{300}$ ই. এস. ইউ. বিভব।

2·9 **বিন্দু তড়িতাধানের তড়িৎক্ষেত্রে কোন বিন্দুর বিভবের হিসাব** (Calculation of potential at a point in an electric field due to a point charge) : ধর, A বিন্দুতে $+q$ পরিমাণ বিন্দু আধান রাখা আছে এবং A বিন্দু হইতে r দূরে P বিন্দুতে উহার দরুণ বিভব হিসাব করিতে হইবে [চিত্র নং 2·5]। A বিন্দু হইতে r_1, r_2, r_3 প্রভৃতি দূরত্বে কতকগুলি খুব কাছাকাছি বিন্দু P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি লওয়া হইল। মনে কর, P, P_1, P_2 প্রভৃতি বিন্দুগুলির বিভব যথাক্রমে V, V_1, V_2 ইত্যাদি।



চিত্র 2·5

এখন, $V-V_1=$ একটি একক ধনাত্মক আধানকে বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে P_1 হইতে P বিন্দুতে আনিতে যে কার্য প্রয়োজন তাহা ($=W_1$ ধর)

অনুরূপভাবে, $V_1-V_2=$ একটি একক ধনাত্মক আধানকে P_2 হইতে P_1 বিন্দুতে আনিতে যে যে কার্য প্রয়োজন তাহা ($=W_2$ ধর,) ইত্যাদি।

এখন, কৃত কার্য = বল × দূরত্ব।

যেহেতু P, P_1, P_2 প্রভৃতি বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধানের উপর প্রযুক্ত বল ভিন্ন এবং যেহেতু বিন্দুগুলি সব কাছাকাছি সেই হেতু আমরা মনে করিতে পারি যে P এবং P_1 বিন্দুর ভিতর সর্বত্র একটি গড় বল ক্রিয়া করিতেছে; তেমনি P_1 এবং P_2 বিন্দুর ভিতর সর্বত্র একটি গড় বল ক্রিয়া করিতেছে ইত্যাদি।

এখন, P এবং P_1 বিন্দুর ভিতর এই গড় বল $=\dfrac{q}{r\times r_1}$ এবং P_1 এবং P_2 বিন্দুর ভিতর $=\dfrac{q}{r_1\times r_2}$ ইত্যাদি (অনুচ্ছেদের শেষে প্রমাণ দ্রষ্টব্য)।

$\therefore$ কৃত কার্য $W_1=\dfrac{q}{rr_1}(r_1-r)=\dfrac{q}{r}-\dfrac{q}{r_1}$; $W_2=\dfrac{q}{r_1r_2}(r_2-r_1)=\dfrac{q}{r_1}-\dfrac{q}{r_2}$

$W_3=\dfrac{q}{r_2r_3}(r_3-r_2)=\dfrac{q}{r_2}-\dfrac{q}{r_3}$ ইত্যাদি।

অথবা, $V-V_1=\dfrac{q}{r}-\dfrac{q}{r_1}$

$$V_1-V_2=\frac{q}{r_1}-\frac{q}{r_2}$$

$$\cdots \qquad \cdots$$

$$V_{n-1}-V_n=\frac{q}{r_{n-1}}-\frac{q}{r_n}$$

এখানে, A হইতে P_n বিন্দুর দূরত্ব r_n এবং উহার বিভব V_n. ধরা হইয়াছে।

যোগ করিলে পাই, $V-V_n=\dfrac{q}{r}-\dfrac{q}{r_n}$

এখন, P_n বিন্দুটি অসীমে অবস্থিত হইলে, $r_n=\infty$; কাজেই $\dfrac{q}{r_n}=0$ এবং $V_n=0$

$$\therefore \quad V=\frac{q}{r}=\frac{\text{তড়িতাধান}}{\text{দূরত্ব}}$$

[গড় বলের হিসাব :

P বিন্দুতে অবস্থিত একক ধনাত্মক আধানের উপর প্রযুক্ত বল $=\dfrac{q}{r^2}$

P_1 ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, $=\dfrac{q}{r_1^2}$

অতএব, P_1 এবং P বিন্দুর ভিতরে একক ধনাত্মক আধানের উপর প্রযুক্ত গড় বল

$=\frac{1}{2}\left(\dfrac{q}{r_1^2}+\dfrac{q}{r^2}\right)=\dfrac{q}{2}\left(\dfrac{r^2+r_1^2}{r_1^2r^2}\right)=\dfrac{q}{2}\left[\dfrac{r^2+(r+\delta)^2}{r_1^2r^2}\right]$ [$r_1=r+\delta$; δ একটি অতি ক্ষুদ্র রাশি]

$$\frac{q}{2}\left[\frac{r^2+r^2+2r\delta+\delta^2}{r_1^2r^2}\right]=\frac{q}{2}\left[\frac{2r^2+2\delta r}{r_1^2r^2}\right]$$ [δ এর উচ্চঘাত অগ্রাহ্য করা যাইতে পারে]

$$=\frac{q}{2}\left(\frac{2r(r+\delta)}{r_1^2r^2}\right)=\frac{q}{2}\left(\frac{2rr_1}{r_1^2r^2}\right)=\frac{q}{r_1r}$$

এইভাবে অন্যান্য বিন্দুদ্বয়ের ভিতর গড় বল হিসাব করা যাইবে।]

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে বিভব ভেক্টর রাশি নহে। ইহা **স্কেলার** রাশি। সুতরাং একাধিক ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িতাধানের জন্য কোন বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করিতে হইলে আমরা প্রতিটি আধানের জন্য পৃথকভাবে বিভব নির্ণয় করিয়া বীজগাণিতিক সমষ্টির সাহায্যে ঐ বিন্দুর মোট বিভব পাইতে পারি।

মনে কর, কোন বিন্দু A হইতে r_1, r_2, r_3 প্রভৃতি দূরত্বে যথাক্রমে $+q_1$, $+q_2$ $-q_3$ ইত্যাদি তড়িতাধান রাখা আছে। তাহা হইলে A বিন্দুর মোট বিভব

$$V=\frac{q_1}{r_1}+\frac{q_2}{r_2}-\frac{q_3}{r_3}\ldots=\Sigma\frac{q}{r}$$

[**ক্যালকুলাসের সাহায্যে** (With the help of calculus) :

$+q$ তড়িতাধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য$=\frac{q}{r^2}$ [চিত্র 2·5] এবং ইহার অভিমুখ AP বরাবর। এখন P এবং P_1 বিন্দুদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য dV হইলে, সংজ্ঞা অনুযায়ী dV=এক একক +তড়িতাধানকে P_1 হইতে P বিন্দুতে আনিতে যে কার্য তাহা=এক একক তড়িতাধানের উপর বল × সরণ$=-\frac{q}{r^2}\times dr$ [ঋণাত্মক চিহ্ন লওয়া হইল কারণ প্রাবল্য এবং সরণ বিপরীতমুখী]

এস্থলে dr=P এবং P_1 বিন্দুদ্বয়ের ভিতর দূরত্ব।

এখন $r=\infty$ এবং $r=r$ এই সীমার মধ্যে উপরোক্ত রাশিমালাকে ইন্টিগ্রেট করিলে, আমরা P বিন্দুর বিভব পাইব। অর্থাৎ

V=P বিন্দুতে $+q$ তড়িতাধানের জন্য বিভব

$$=-\int_{\infty}^{r}\frac{q}{r^2}\,dr=-q\int_{\infty}^{r}\frac{1}{r^2}\,dr=-q\left[-\frac{1}{r}\right]_{\infty}^{r}=\frac{q}{r}.]$$

Example : 80 ই. এস. ইউ. সম্পন্ন q তড়িতাধান হইতে 10 সে. মি. দূরবর্তী A বিন্দুতে -10 ই. এস. ইউ. একটি তড়িতাধান রাখা আছে। উহাকে q তড়িতাধান হইতে 20 সে. মি. দূরে B বিন্দুতে লইতে কত কার্য করিতে হইবে?

উ। 'q' তড়িতাধান হইতে 'r' দূরে কোন বিন্দুতে বিভব $V=\frac{q}{r}$। $=\frac{\text{আধান}}{\text{দূরত্ব}}$

অতএব, A বিন্দুতে বিভব V_A বলিলে $V_A=\frac{80}{10}=8$ ই. এস. ইউ.

এবং B ,, ,, V_B ,, $V_B=\frac{80}{20}=4$ ই. এস. ইউ.

$\therefore$ $V_A-V_B=(8-4)$ ই. এস. ইউ,

কাজেই -10 ই. এস, ইউ, তড়িতাধানকে A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে লইলে সম্পাদিত কার্য $=(V_A-V_B)\times 10=4\times 10=40$ আর্গ।

2.10 প্রাবল্য ও বিভবের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between intensity and potential) : ধর, কোন তড়িৎক্ষেত্রে A এবং B দুইটি কাছাকাছি বিন্দু লওয়া হইল এবং উহাদের ভিতর দূরত্ব x; যদি x খুব ক্ষুদ্র হয় তাহা হইলে মনে করা যাইতে পারে যে বিন্দুদ্বয়ের ভিতর সর্বত্র একটি অপরিবর্তিত মানের ক্ষেত্র প্রাবল্য ক্রিয়া করিতেছে। ধর, ঐ ক্ষেত্র-প্রাবল্যের মান$=$E.

এখন, A এবং B বিন্দু দুইটির বিভব যথাক্রমে V_A এবং V_B হইলে, ($V_A > V_B$),

$V_A-V_B=$B হইতে একটি একক ধনাত্মক আধানকে A পর্যন্ত আনিতে কৃত কার্য$=$ বল$\times$A এবং B এর ভিতরকার দূরত্ব$=\text{E}\times x$

$$\therefore \quad \text{E}=\frac{V_A-V_B}{x}$$

Examples : (1) একটি পরিবাহী প্লেটকে 4000 ভোল্ট বিভবে আহিত করা হইল। দ্বিতীয় আর একটি প্লেটকে 1000 ভোল্ট বিভবে আহিত করিয়া প্রথম প্লেটের 10cm. দূরত্বে আনা হইল। ঐ প্লেট দুইটির ভিতর যে কোন বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য কত?

উ। প্রথম প্লেটের বিভব $V_A=4000$ ভোল্ট$=\frac{4000}{300}=\frac{40}{3}$ ই. এস. ইউ.

দ্বিতীয় ,, ,, $V_B=1000$ ভোল্ট$=\frac{1000}{300}=\frac{10}{3}$ ই. এস. ইউ.

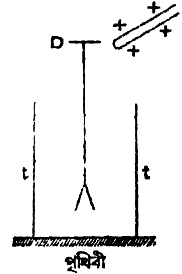
আমরা জানি, $\text{E}=\frac{V_A-V_B}{x}=\frac{\frac{40}{3}-\frac{10}{3}}{10}=\frac{(40-10)}{3\times 10}=1$ ই. এস.

(2) একটি বিন্দু হইতে যথাক্রমে 5cm., 10cm. এবং 15cm. দূরে $+10$, $+20$ এবং -30 ই. এস. ইউ. তড়িতাধান রাখা আছে। ঐ বিন্দুর বিভব কত হইবে?

উ। আমরা জানি, $V=\frac{q_1}{r_1}+\frac{q_2}{r_2}+\frac{q_3}{r_3}+\ ..$

এক্ষেত্রে, $V=\frac{10}{5}+\frac{20}{10}-\frac{30}{15}=2+2-2=2$ ই. এস. ইউ

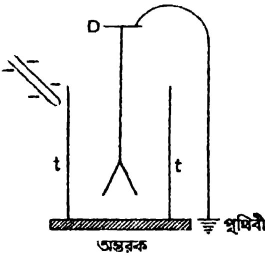
2.11 বিভব-প্রভেদ এবং স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের কার্যপ্রণালী (Potential difference and the principle of action of a gold leaf electroscope) : 1.3 অনুচ্ছেদে তড়িৎবীক্ষণের ব্যবহার সম্পর্কে বলা হইয়াছে যে উহা দ্বারা কোন বস্তুতে তড়িতের অবস্থিতি এবং ঐ তড়িতের প্রকৃতি নির্ণয় করা যায় এবং মোটামুটিভাবে তড়িতের পরিমাণও নির্ধারণ করা যায়। তাছাড়া, পত্র দুইটিতে সমজাতীয় তড়িৎ থাকে বলিয়া উহাদের বিস্ফারণ ঘটে—কার্যনীতিতে এইরূপ উল্লেখ করা হইয়াছে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে প্রমাণ করা যায় যে, পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ পত্র এবং টিনপাতের মধ্যে বিভব-প্রভেদের জন্য হয়।



চিত্র 2·6(i)

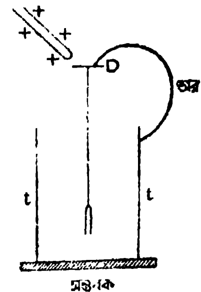
2·6 (i) নং চিত্রে তড়িৎবীক্ষণের দ্বারা কোন দণ্ডে তড়িতের অবস্থিতি পরীক্ষার প্রণালী দেখানো হইয়াছে। ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত দণ্ডকে D-চাকতির সম্মুখে ধরিলে চাকতি এবং পত্রদ্বয়ের বিভব বৃদ্ধি পাইবে। কিন্তু টিনপাত দুইটি (t, t) পৃথিবীর সহিত যুক্ত বলিয়া উহাদের বিভব শূন্য। কাজেই পত্রদ্বয় এবং টিন পাতের ভিতর একটি বিভব-প্রভেদ সৃষ্টি হইল এবং এই বিভব-প্রভেদের জন্যই পত্রদ্বয় বিস্ফারিত হইল।

2·6 (ii) নং চিত্রে তড়িৎবীক্ষণকে একটি এবোনাইট পাটাতনের উপর রাখা হইয়াছে। এবোনাইট অন্তরক হওয়ায়, টিনপাত (t, t) দুইটি এবার আর পৃথিবীর সহিত যুক্ত নাই, কিন্তু D চাক্তিকে পৃথিবীর সহিত যোগ করা হইয়াছে। ফলে D-চাক্তি এবং স্বর্ণপত্রদ্বয় শূন্য বিভবে থাকিবে। এখন, ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত একটি দণ্ডকে টিনপাতের নিকটে আনিলে, টিনপাত দুইটির বিভব হ্রাস পাইবে—অর্থাৎ স্বর্ণপত্র এবং টিনপাতের ভিতর পুনরায় বিভব প্রভেদ সৃষ্টি হইবে। ফলে, পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ ঘটিবে।



চিত্র 2·6(ii)

2·7 নং চিত্রে যন্ত্রটি অন্তরকের উপর বসানো আছে কিন্তু D-চাক্তি এবং টিনপাত দুইটি একটি তার দ্বারা যোগ করা আছে। এক্ষেত্রে কোন তড়িৎগ্রস্ত দণ্ড চাক্তির সম্মুখে ধরিলে অথবা অন্য কোন উপায়ে যন্ত্রকে তড়িৎগ্রস্ত করিবার চেষ্টা করিলে, পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ ঘটিবে না; কারণ, পত্রদ্বয় এবং টিনপাত উভয়ে তার দ্বারা যুক্ত হওয়ায় উহারা সর্বদা সম-বিভবে থাকিবে। অতএব, এই পরীক্ষা হইতে আমরা এইরূপ সিদ্ধান্ত করিতে পারি যে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণের জন্য টিনপাত এবং স্বর্ণপত্রের মধ্যে বিভব-প্রভেদ প্রয়োজন।

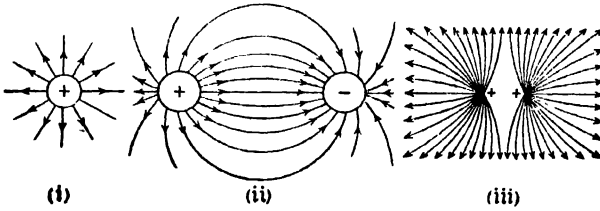


চিত্র 2·7

2·12. তড়িৎ বলরেখা (Electric lines of force) : তড়িৎক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ বিভিন্ন। তড়িৎক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দু

দিয়া যদি এমন একটি রেখা কল্পনা করা যায় যে ঐ রেখার যে কোন বিন্দুতে স্পর্শক টানিলে উহা ঐ বিন্দুর প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করিবে, তবে ঐ রেখাকে **তড়িৎ বলরেখা** বলা হইবে।

কোন তড়িতাহিত বস্তুর চতুর্দিকস্থ তড়িৎক্ষেত্র ব্যাপিয়া ঐরূপ অসংখ্য বলরেখা টানা যাইতে পারে। চৌম্বক বলরেখা আঁকিবার যে পদ্ধতি প্রচলিত আছে সেই পদ্ধতিতে তড়িৎ বলরেখাও আঁকা যাইতে পারে। 2·8 নং চিত্রে কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্রের বলরেখার আকৃতি দেখানো হইয়াছে। 2·8 (i) নং চিত্রে যে-বলরেখাগুলি দেখানো হইয়াছে তাহা একটি তড়িতাহিত গোলকের দরুন। বলরেখাগুলির অভিমুখ এমন যে পশ্চাতে বর্ধিত করিলে সব বলরেখা গোলকের কেন্দ্রে মিলিত হয়। 2·8 (ii) নং চিত্রের বলরেখাগুলি গঠিত হইতেছে দুইটি সমপরিমাণ কিন্তু বিপরীতধর্মী



চিত্র 2·8

তড়িতাধানের দ্বারা এবং 2·8 (iii) নং চিত্রের বলরেখাগুলি গঠিত হইতেছে দুইটি সমপরিমাণ কিন্তু সমধর্মী বিন্দু তড়িতাধানের দ্বারা। 2·8 (iii) নং চিত্র লক্ষ্য করিলে দেখা যায়, চৌম্বক বলরেখার ক্ষেত্রে যেরূপ উদাসীন বিন্দু পাওয়া যায় এক্ষেত্রেও তেমনি উদাসীন বিন্দু পাওয়া যাইবে।

তড়িৎ বলরেখার বৈশিষ্ট্য (Characteristics of electric lines of force) ঃ

(i) ধনাত্মক আধানযুক্ত পরিবাহী হইতে বলরেখা বাহির হইয়া ঋণাত্মক আধানযুক্ত পরিবাহীতে শেষ হয়।

(ii) দুইটি বলরেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করে না; ছেদ করিলে ছেদ বিন্দুতে লব্ধ প্রাবল্য দুইটি বিভিন্ন দিকে ক্রিয়া করিবে, যাহা সম্পূর্ণ অবাস্তব ব্যাপার।

(iii) বলরেখাগুলি দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হইবার চেষ্টা করে।

(iv) বলরেখা পরিবাহীকে সমকোণে স্পর্শ করে।

(v) প্রত্যেক বলরেখার দুই প্রান্তে সমান কিন্তু বিপরীত আধান থাকে।

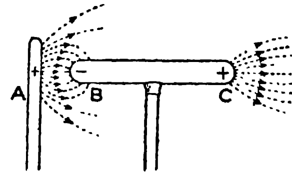
(vi) বলরেখাগুলি পরস্পরকে পার্শ্বদিকে বিকর্ষণ করে।

(vii) পরিবাহীর মধ্যে কোন বলরেখার অস্তিত্ব নাই। সুতরাং তড়িৎ বলরেখা বদ্ধ (closed) নয়। এখানে চৌম্বক বলরেখার সহিত তড়িৎ বলরেখার পার্থক্য। আমরা জানি চৌম্বক বলরেখা বদ্ধ বলরেখা এবং চুম্বকের অভ্যন্তরেও বলরেখার অস্তিত্ব আছে।

2·13. **বলরেখার সাহায্যে তড়িতাবেশের ব্যাখ্যা** (Explanation of electrostatic induction by lines of force) ঃ তড়িতাবেশের ঘটনাগুলি তড়িৎ বল-

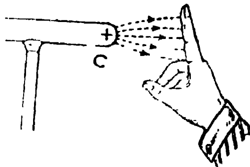
রেখার উপরোক্ত বৈশিষ্ট্য অনুযায়ী ব্যাখ্যা করা যায়। যদি কোন তড়িতাহিত (ধর, ধনাত্মক) বস্তুকে একটি ঘরের ভিতর রাখা যায়, তবে ঐ বস্তু হইতে বলরেখা নির্গত হইয়া মাধ্যমে ছড়াইয়া পড়ে এবং অবশেষে ঘরের দেওয়ালে গিয়া শেষ হয়। এক্ষেত্রে বল রেখাগুলি যেস্থল হইতে উৎপন্ন হইতেছে তথায় ধনাত্মক তড়িৎ (অর্থাৎ বস্তুর ধনাত্মক তড়িৎ) এবং যেস্থ.ল শেষ হইতেছে (অর্থাৎ দেওয়াল) তথায় সমপরিমাণ ঋণাত্মক তড়িৎ বহন করে। ইহাই বলরেখার বৈশিষ্ট্য।

যখন একটি অনাহিত এবং অন্তরিত পরিবাহী BC-কে মাধ্যমের ভিতর ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত A দণ্ডের কাছাকাছি রাখা হয় (চিত্র 2·9) তখন কিছুসংখ্যক বলরেখা পরিবাহীর B বিন্দুতে শেষ হয় এবং সমপরিমাণ বলরেখা C বিন্দু হইতে নির্গত হয়। যে বলরেখাগুলি পরিবাহীর B বিন্দুতে শেষ হয় তাহারা তথায় ঋণাত্মক তড়িৎ বহন করে এবং সমপরিমাণ বলরেখা C বিন্দু হইতে নির্গত হইয়া তথায় সমপরিমাণ ধনাত্মক তড়িৎ সৃষ্টি করে।



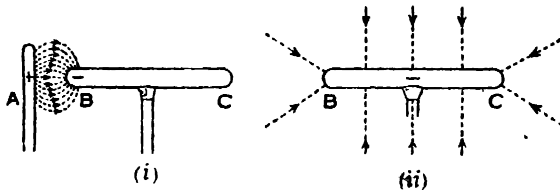
চিত্র 2·9

এখন C প্রান্তের নিকটে একটি আঙ্গুল রাখিলে উহা ভূসংলগ্ন পরিবাহীর কাজ করিবে। C প্রান্ত হইতে নির্গত বলরেখাগুলি তখন আঙ্গুলের ভিতর দিয়া সংক্ষিপ্ত পথ পছন্দ করিবে এবং আঙ্গুলে ঋণাত্মক আধান উৎপন্ন করিয়া শেষ হইবে [চিত্র 2·10]। আঙ্গুল C প্রান্তের যত কাছে আনা হইবে বলরেখা ততই সংকুচিত হইবে এবং উহার প্রান্তস্থিত ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান পরস্পরের কাছাকাছি আসিবে। পরে, যখন আঙ্গুল পরিবাহী স্পর্শ করিবে তখন সমপরিমাণ বিপরীত আধান পরস্পর মিশিয়া নিঃশেষ হইবে; বলরেখাও C প্রান্ত হইতে অদৃশ্য হইবে।



চিত্র 2·10

এখন, পরিবাহীকে ভূসংলগ্ন করিলে, A দণ্ড হইতে যে-সকল বলরেখা দূরের ভূসংলগ্ন দেওয়ালে গিয়া শেষ হইতেছিল, তাহাদের কিছু কিছু নিকটবর্তী ভূসংলগ্ন পরিবাহীকে পছন্দ করিবে এবং



চিত্র 2·11

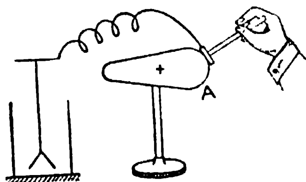
তথায় শেষ হইবে। এই কারণে পরিবাহীকে ভূসংলগ্ন করিলে B প্রান্তের আবিষ্ট ঋণাত্মক আধান কিছু বৃদ্ধি পায় [চিত্র 2·11 (i)]।

ভূসংযোগ বিচ্ছিন্ন করিয়া A দণ্ডকে সরাইয়া লইলে যে-সকল বলরেখা B প্রান্তে শেষ হইতেছে তাহারা এখন পরিবাহীর সর্বত্র সমভাবে ছড়াইয়া পড়িবে এবং পরিবাহী ঋণাত্মক তড়িৎ তথা ঋণাত্মক বিভব পাইবে। লক্ষণীয় যে এই অবস্থায় বলরেখাগুলি ঘরের দেওয়াল হইতে পরিবাহীর দিকে অগ্রসর হয় [চিত্র 2·11 (ii)]।

একই ভাবে আবেশের দ্বারা স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের আহিতকরণও বলরেখার সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।

2·14. তড়িতাহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভবযুক্ত (Surface of a charged conductor is equipotential) : কোন তড়িৎক্ষেত্রের যে-সকল বিন্দুতে বিভব সমান, সেই সকল বিন্দুর ভিতর দিয়া অঙ্কিত তলকে **সমবিভব তল** (equipotential surface) বলে। নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে তড়িতাহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ একটি সমবিভবতল।

একটি অসম আকৃতির অন্তরিত পরিবাহী (A) লইয়া, ধর, উহাকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা হইল। একটি অনাহিত স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ লইয়া একগাছা তারের সাহায্যে উহার চাকতির সহিত একটি আধান পরীক্ষক যুক্ত কর। তড়িৎবীক্ষণকে পরিবাহী হইতে যথেষ্ট দূরে রাখ যাহাতে পরিবাহী দ্বারা তড়িৎবীক্ষণে তড়িতাবেশ না হইতে পারে।



চিত্র 2·12

এইবার আধান পরীক্ষকের চাকতিকে পরিবাহীর পৃষ্ঠে স্থাপন কর এবং আধান পরীক্ষককে ঐ পৃষ্ঠ বরাবর বিভিন্ন স্থানে লইয়া যাও [চিত্র 2·12]। দেখা যাইবে যে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ সর্বত্র সমান থাকিতেছে। ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে পরিবাহীর পৃষ্ঠের বিভিন্ন বিন্দুতে বিভব সমান।

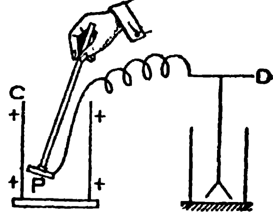
যদি পরিবাহীকে আবেশের দ্বারা একই সঙ্গে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ দেওয়া হয়, তাহা হইলেও একই ফল পাওয়া যাইবে। অর্থাৎ আবেশ পরিবাহীতে যুগপৎ উভয় প্রকার তড়িতের উদ্ভব করিলেও, পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভবসম্পন্ন হয় এবং এই বিভব নির্ভর করে আবেশী তড়িতের উপর। আবেশী তড়িৎ ধনাত্মক হইলে পরিবাহীর বিভব ধনাত্মক হইবে; আর, আবেশী তড়িৎ ঋণাত্মক হইলে পরিবাহীর বিভব হইবে ঋণাত্মক।

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে উপরোক্ত তড়িতাহিত অসম আকৃতির পরিবাহীর পৃষ্ঠের সর্বত্র বিভব সমান হইলেও, আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান হইবে না।

2·15. **ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরস্থ বিভব** (Potential inside a hollow conductor) : নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে কোন ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব সমান এবং উহা পরিবাহীর পৃষ্ঠস্থ বিভবের সমান।

একটি অন্তরিত, ফাঁপা এবং গভীর ধাতুপাত্র লইয়া, ধর, উহাকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত

করা হইল এবং উহার বেশ অভ্যন্তরে একটি আধান পরীক্ষক P প্রবেশ করানো হইল [চিত্র 2·13]। আধান-পরীক্ষককে তার দিয়া একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের চাকতি D-এর সহিত যুক্ত করা আছে। আধান-পরীক্ষককে পাত্রের অভ্যন্তরে এখানে-সেখানে নাড়াচড়া কর। দেখিবে, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ অপরিবর্তিত রহিয়াছে। আমরা জানি, পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বিভবের পরিমাপ করে। সুতরাং বলা যায় পাত্রের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব সমান।



চিত্র 2·13

এইবার আধান-পরীক্ষককে পরিবাহীর পৃষ্ঠের সহিত স্পর্শ করাও। এবারও দেখা যাইবে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণের কোন পরিবর্তন হইল না। ইহা প্রমাণ করে পরিবাহীর অভ্যন্তরস্থ বিভব এবং পৃষ্ঠের বিভব সমান।

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে, ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব সমান হওয়ায় সেখানে ক্ষেত্র-প্রাবল্য শূন্য (2·10 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। অতএব, পরিবাহীর অভ্যন্তরে কোন তড়িৎ বলরেখাও থাকে না।

Exercises

1. দুইটি বিন্দু আধানের ভিতর পারস্পরিক বলসংক্রান্ত কুলম্বের নিয়ম বিবৃত কর। আধানের স্থির-তড়িৎ একক কি? ইহার ব্যবহারিক একক কি? এই দুই এককের ভিতর সম্পর্ক কি?

2. তড়িৎ ক্ষেত্র কাহাকে বলে? তড়িৎ ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে প্রাবল্যের সংজ্ঞা লেখ। তড়িৎক্ষেত্রের দিকনির্দেশ বলিতে কি বোঝ?

3. (*a*) আধানের তড়িৎ বিভব, (*b*) কোন বিন্দুতে তড়িৎ বিভব, (*c*) দুই বিন্দুর ভিতর বিভব পার্থক্য বলিতে কি বোঝ? A এবং B দুইটি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে −50 ই. এস্. ইউ. এবং −10 ই. এস্. ইউ.; কোন্ বিন্দুটির বিভব উচ্চতর?

4. বিন্দু তড়িতাধানের $(+q)$ জন্য r দূরত্বে বিভব $=\frac{q}{r}$ ইহা প্রমাণ কর।

5. বিভবপ্রভেদ ও ক্ষেত্রপ্রাবল্যের ভিতর সম্পর্ক কি?

6. দুইটি ক্ষুদ্রাকার অন্তরিত ধাতব গোলকের আধান যথাক্রমে +12 এবং +8 ই. এস্. ইউ.; বায়ুমধ্যে উহাদের দূরত্ব 8 সে মি হইলে, উহাদের ভিতর পারস্পরিক বল কত? [Ans. 1·5 ডাইন]

7. +25 ই. এস্. ইউ. আধানের একটি বিন্দু A অপর দুইটি আধান B এবং C-এর মধ্যে একই রেখায় আছে। B এবং C আধানের পরিমাণ যথাক্রমে +5 ই. এস্. ইউ. এবং −30 ই. এস্. ইউ.; A আধান B আধান হইতে 2·5 সে.মি. দূরে এবং C আধান হইতে 5 সে.মি. দূরে। A আধানের উপর কত বল ক্রিয়া করিবে? [Ans. AC অভিমুখে 50 ডাইন]

8. দুইটি সমপরিমাণ তড়িতাধান বায়ুমধ্যে 19 সে.মি. দূরে থাকিয়া পরস্পরের প্রতি 50 মিলিগ্রাম ভার বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে। আধান দুইটির পরিমাণ কত?

[Ans. 70 ই. এস্. ইউ.]

9. $+30$ একক এবং $+60$ একক-এর দুইটি বিন্দু আধানকে 12 সে.মি. দূরে রাখা হইল। যে বিন্দুতে উহাদের প্রাবল্য সমান ও বিপরীত হইবে, তাহার অবস্থান নির্ণয় কর।

[Ans. $+60$ একক আধান হইতে 7·02 সে.মি. দূরে]

10. দুইটি ক্ষুদ্র গোলক A এবং B যথাক্রমে $+9$ এবং $+16$ একক তড়িতাধানে আহিত। উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব 28 সে.মি.; A হইতে AB রেখা বরাবর কত দূরে উভয়ের প্রাবল্য সমান হইবে? [Ans. (i) A হইতে 12 সে.মি. B অভিমুখে, (ii) A হইতে B-এর বিপরীত দিকে 84 সে.মি. দূরে]

11. 0·05 গ্রাম ভরসম্পন্ন একটি শোলাবলে 100 ই. এস্. ইউ. তড়িতাধান আছে। ঐ শোলাবলের ঠিক 10 সে.মি. উর্ধ্বে কত তড়িতাধানযুক্ত একটি বল রাখিলে উহা শোলাবলকে সাম্য অবস্থানে রাখিতে পারিবে? [Ans. 49 ই. এস্. ইউ.]

12. বিভব-প্রভেদ দ্বারা স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের যন্ত্রের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

13. 'পৃথিবীর বিভব শূন্য,—এই উক্তির ব্যাখ্যা কর। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িতাহিত দুইটি বস্তুকে পৃথকভাবে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করা হইল। যুক্ত করার পূর্বে ও পরে উহাদের বিভব কত হইবে?

14. তড়িৎ বলরেখা কাহাকে বলে? ইহাদের বৈশিষ্ট্য কি?

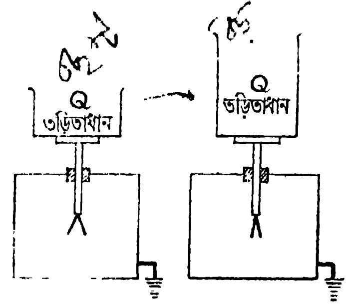
15. সমবিভব তল বলিতে কি বোঝ? একটি তড়িতাহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভবতল —ইহা কিরূপে প্রমাণ করিবে?

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

ধারকত্ব এবং ধারক

(Capacitance and capacitor)

3·1 **ধারকত্ব** (Capacitance or capacity) ঃ আমরা জানি, বিভিন্ন আকারের পাত্রে সমপরিমাণ জল ঢালিলে পাত্রগুলিতে জলের লেভেল বিভিন্ন হয়। অনুরূপভাবে, বিভিন্ন আকারের পরিবাহীতে সমপরিমাণ তড়িতাধান দিলে উহাদের বিভব ভিন্ন হয়। দুইটি অসমান অকারের ধাতবপাত্র লইয়া উহাদের দুইটি সদৃশ স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের চাকতির উপর রাখ (চিত্র নং 3·1)। এইবার পাত্র দুইটির প্রত্যেককে Q পরিমাণ তড়িতাধানে আহিত কর। দেখা যাইবে ছোট পাত্রের তড়িৎ-বীক্ষণের স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ অপর যন্ত্রের তুলনায় বেশী। ইহা প্রমাণ করে যে ছোট পাত্রের বিভব বড় পাত্রের তুলনায় বেশী। এই অবস্থায় বলা হয় যে বড় পাত্রের **ধারকত্ব** ছোট পাত্র অপেক্ষা বেশী।



চিত্র 3·1

তার দিয়া পাত্র দুইটিকে যুক্ত করিলে, ছোট পাত্র হইতে তড়িতাধান বড় পাত্রে চলিয়া যাইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না উভয়ের বিভব সমান হয় ঠিক যেমন জলপূর্ণ দুইটি পাত্রকে পাইপ দিয়া সংযুক্ত করিলে জলপ্রবাহ হইয়া পাত্রের জলের লেভেল সমান হয়। পাত্র দুইটির বিভব সমান হইলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ দুই ক্ষেত্রেই সমান হইবে।

দেখা যায় যে, নির্দিষ্ট কোন পরিবাহীর বেলায় উহার বিভব সর্বদা উহার আধানের সমানুপাতিক হয়। Q পরিমাণ তড়িতাধান দিলে কোন পরিবাহীর বিভব যদি V হয়, তবে, $Q \propto V$ অথবা $Q = C.V$

এখানে, C একটি ধ্রুবসংখ্যা এবং ইহাকেই পরিবাহীর **ধারকত্ব** (capacitance or capacity) বলা হয়। অতএব, ধারকত্ব $(C) = \dfrac{\text{তড়িতাধান } (Q)}{\text{বিভব } (V)}$

এখন, যদি $V=1$ হয়, তবে $Q=C$; অর্থাৎ কোন পরিবাহীর বিভব এক একক বৃদ্ধি করিবার জন্য পরিবাহীকে যতখানি তড়িতাধান সরবরাহ করিতে হয়, তাহাকে পরিমাণমূলকভাবে পরিবাহীর ধারকত্বের সমান ধরা হয়।

3.2. **ধারকত্বের একক সমূহ** (Units of capacitance) ঃ উপরোক্ত সমীকরণে যদি $Q=1$ ই. এস্. ইউ. এবং $V=1$ ই. এস্. ইউ. ধরা যায় তবে $C=1$ ই. এস্. ইউ. ; অর্থাৎ

কোন পরিবাহীর বিভব 1 ই. এস্. ইউ. বৃদ্ধি করিতে যদি 1 ই. এস্. ইউ. তড়িতাধানের প্রয়োজন হয়, তবে উহার ধারকত্বকে 1 ই. এস্. ইউ. বলা হয়। কিন্তু ব্যবহারিক একক অনুযায়ী তড়িতাধান 'কুলম্বে' এবং বিভব 'ভোল্টে' প্রকাশ করিলে, ধারকত্ব ব্যবহারিক এককে প্রকাশিত হইবে এবং এই এককের নাম **ফ্যারাড** (farad)। এক কুলম্ব তড়িতাধান দিলে যদি কোন পরিবাহীর বিভব এক ভোল্ট বৃদ্ধি পায়, তবে ঐ পরিবাহীর ধারকত্বকে এক ফ্যারাড বলা হয়।

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ফ্যারাড খুব বড় একক হওয়ায়, উহার ভগ্নাংশ করা হইয়াছে। যেমন, 1 ফ্যারাড $(F)=10^6$ মাইক্রো-ফ্যারাড (μF) $1F = 10^6 \mu F$

অথবা, 1 ফ্যারাড $(F)=10^{12}$ মাইক্রো-মাইক্রো-ফ্যারাড $(\mu\mu F)$

এখন, জানা আছে 1 কুলম্ব $=3\times10^9$ ই. এস্. ইউ. তড়িতাধান

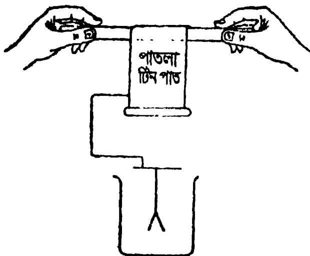
এবং 300 ভোল্ট $=1$ ই. এস্. ইউ. বিভব।

$$\text{কাজেই } 1 \text{ ফ্যারাড} = \frac{1 \text{ কুলম্ব}}{1 \text{ ভোল্ট}} = \frac{3\times10^9 \text{ ই. এস্. ইউ. তড়িতাধান}}{1/300 \text{ ই. এস্. ইউ. বিভব}}$$

$$=9\times10^{11} \text{ ই. এস্. ইউ. ধারকত্ব}$$

$$\therefore\quad 1\mu F=10^{-6} \text{ ফ্যারাড}=9\times10^5 \text{ ই. এস্. ইউ. ধারকত্ব}$$

3·3. পরিবাহীর ধারকত্ব কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে (Factors governing the capacitance of a conductor) : 3·1 অনুচ্ছেদ আমরা দেখিতে পাই যে Q অপরিবর্তিত থাকিলে, $C \propto \frac{1}{V}$ অর্থাৎ যে সকল কারণে নির্দিষ্ট আধানে আহিত পরিবাহীর তড়িৎ-বিভব পরিবর্তিত হয়, সেই সকল কারণে উহার ধারকত্বও পরিবর্তিত হয়। কারণগুলি নিম্নরূপ :



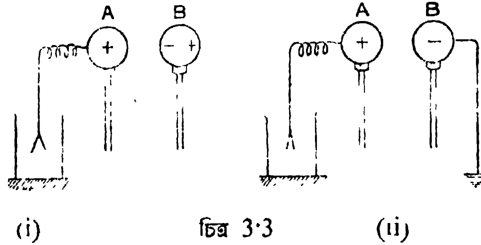
চিত্র 3·2

(i) **পরিবাহীর ক্ষেত্রফল :** ক্ষেত্রফল যত বৃদ্ধি পায় পরিবাহীর বিভব তত কমে; ফলে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। একটি ইবোনাইট দণ্ড হইতে একখানি পাতলা টিনপাত ঝুলাইয়া উহাকে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের চাকতির সহিত যুক্ত কর (চিত্র নং 3·2)। টিনপাতকে তড়িৎযন্ত্রের সাহায্যে আহিত কর। স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ হইবে। এইবার ইবোনাইট দণ্ডের সাহায্যে টিনপাতকে কিছু গুটাইয়া লইলে, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইবে—অর্থাৎ টিনপাতের বিভব বৃদ্ধি পাইবে। যেহেতু তড়িতাধানের পরিমাণ অপরিবর্তিত আছে সেইহেতু বোঝা যাইতেছে, টিনপাতের ধারকত্ব হ্রাস পাইয়াছে। সুতরাং বলা যায় যে টিনপাতের ক্ষেত্রফল হ্রাস পাওয়ায় ধারকত্ব হ্রাস পাইয়াছে। অনুরূপভাবে, টিনপাতের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করিলে দেখা যাইবে উহার ধারকত্ব বৃদ্ধি পাইয়াছে।

(ii) **পরিবাহীর চতুর্দিকস্থ মাধ্যম :** পরিবাহীর চতুর্দিকে বায়ুর পরিবর্তে অপর কোন অপরিবাহী মাধ্যম যেমন প্যারাফিন, গন্ধক, কাচ থাকিলে, পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়।

(iii) **অপর কোন পরিবাহী বস্তুর সান্নিধ্য :** পরীক্ষাধীন পরিবাহীর কাছাকাছি অপর কোন পরিবাহী বস্তু থাকিলে, বিশেষ করিয়া, ঐ পরিবাহী বস্তু ভূসংলগ্ন হইলে পরীক্ষাধীন পরিবাহীর ধারকত্ব খুব বৃদ্ধি পায়।

A একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত পরিবাহী। উহাকে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের সহিত যুক্ত করিলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ হইবে এবং ঐ বিস্ফারণ পরিবাহীর বিভবের পরিমাপ। এখন আর একটি অন্তরিত পরিবাহী B (তড়িৎবিহীন) নিকটে আনিলে দেখা যাইবে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ কিছু হ্রাস পাইল [চিত্র 3·3(i)]। ইহা হইতে বোঝা যায় যে A পরিবাহীর বিভব হ্রাস পাইল অথবা ধারকত্ব বৃদ্ধি পাইল। ইহার কারণ B পরিবাহীতে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক



(i) চিত্র 3·3 (ii)

তড়িৎ আবিষ্ট হইবে এবং এই আবেশের জন্য A পরিবাহীর বিভব হ্রাস পাইবে। এখন যদি B পরিবাহীকে ভূসংলগ্ন করা হয়, [চিত্র 3·3(ii)] তবে দেখা যাইবে যে স্বর্ণপত্রদ্বয় প্রায় নিমীলিত হইল—অর্থাৎ A পরিবাহীর বিভব খুব হ্রাস পাইল অথবা ধারকত্ব খুব বৃদ্ধি পাইল।

3·4. **পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব** (Capacitance of spherical conductor) : ধর, R=গোলকের ব্যাসার্ধ এবং Q=বায়ুতে রক্ষিত গোলকের ই. এস্. ইউ. এককে তড়িতাধানের পরিমাণ।

এখন, গোলকের পৃষ্ঠে বিভব $V=\frac{Q}{R}$ ই. এস্. ইউ. [গোলকের তড়িতাধান কেন্দ্রে জমা করা আছে কল্পনা করিতে হইবে]। অতএব, গোলকের ধারকত্ব (ই. এস্. ইউ. এককে)

$C=\frac{Q}{V}=\frac{Q}{Q/R}=R$; যে গোলকের ব্যাসার্ধ 1cm. সেই গোলকের ধারকত্ব=1 ই.এস্.ইউ.;

কাজেই কোন গোলকের ধারকত্ব 1 ফ্যারাড অর্থাৎ 9×10^{11} ই. এস্. ইউ. করিতে হইলে উহার ব্যাসার্ধ 9×10^{11} cm. করিতে হইবে। এই কারণে ধারকত্বকে অনেক সময় সেন্টিমিটার এককে প্রকাশ করা হয়। যেমন, কোন পরিবাহীর ধারকত্ব 5cm. বলিলে বুঝাইবে যে 5cm. ব্যাসার্ধযুক্ত গোলকের যে ধারকত্ব তাহাই উক্ত পরিবাহীর ধারকত্ব।

যদি গোলকের চতুষ্পার্শ্বস্থ মাধ্যম বায়ুর পরিবর্তে অন্য কোন বস্তু হয় এবং ঐ মাধ্যমের পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক (di-electric constant) K হয়, তবে গোলকের বিভব $V=\frac{Q}{KR}$;

অতএব, গোলকের ধারকত্ব $C=\frac{Q}{V}=K.\ R.$

অর্থাৎ উপরোক্ত মাধ্যমে গোলকের ধারকত্ব বায়ুর তুলনায় K গুণ হইবে।

3·5 **আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি** (Potential energy of a charged conductor) : ধর, একটি পরিবাহীর ধারকত্ব C ই. এস্. ইউ. এবং উহাকে $+Q$ ই. এস্. ইউ. তড়িতাধান দেওয়া হইল যাহাতে উহার বিভব হইল V ই.. এস্. ইউ। এখন, পরিবাহীর বিভব বলিতে আমরা বুঝি যে একক ধনাত্মক তড়িতাধানকে বহুদূরবর্তী বিন্দু হইতে পরিবাহী অতি নিকটবর্তী বিন্দুতে আনিতে যে কার্য করা হয় তাহা। Q তড়িতাধানের সমস্তটাই একসঙ্গে পরিবাহীকে না দিয়া যদি মনে করা হয় যে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র পরিমাণে আনিয়া পরবাহীকে দেওয়া হইল যাহাতে উহার বিভব শূন্য মান হইতে ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পাইয়া V হইল, তাহা হইলে মোট যে কার্য করিতে হইবে তাহাই হইবে আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি।

সহজ উপায়ে এই স্থিতিশক্তি হিসাব করিতে হইলে আমরা মনে করিতে পারি যেন পরিবাহীর বিভব ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায় নাই; সমগ্র প্রক্রিয়াব্যাপী উহার বিভব গড় মান (average value) অর্থাৎ $\frac{V}{2}$ ই. এস্. ইউ. তে স্থির আছে। এই অবস্থায় পরিবাহীকে Q তড়িতাধান দিয়া উহার বিভব শূন্য হইতে V করিতে মোট যে কার্য করিতে হইবে তাহা $W=$ গড় বিভব $\times$ তড়িতাধান $=\frac{1}{2}V\times Q=\frac{1}{2}V\times CV=\frac{1}{2}CV^2$ আর্গ $[\therefore Q=CV]$

অতএব, পরিবাহীর স্থিতিশক্তি $=\frac{1}{2}CV^2$ আর্গ

অপর পক্ষে, স্থিতিশক্তি $=\frac{1}{2}CV^2=\frac{1}{2}C\left(\frac{Q}{C}\right)^2=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$ আর্গ $\left(\therefore V=\frac{Q}{C}\right)$

[দ্রঃ C ফ্যারাডে এবং V ভোল্টে প্রকাশিত হইলে স্থিতিশক্তি 'জুলে' প্রকাশ করিতে হইবে।]

3·6 **বিভিন্ন বিভবযুক্ত দুইটি পরিবাহীর ভিতর আধানের বণ্টন** (Sharing of charges between two conductors at different potentials) : মনে কর, C_1 এবং C_2 ধারকত্বের দুইটি পরিবাহী A এবং B লইয়া উহাদের পৃথকভাবে যথাক্রমে Q_1 এবং Q_2 তড়িতাধান দেওয়া হইল।

এই অবস্থায়, A পরিবাহীর বিভব $V_1=\frac{Q_1}{C_1}$

এবং B ,, ,, $V_2=\frac{Q_2}{C_2}$

এখন, একটি সরু ও লম্বা তার দিয়া পরিবাহীদ্বয়কে সংযুক্ত করিলে উচ্চবিভবযুক্ত পরিবাহী হইতে নিম্ন বিভবযুক্ত পরিবাহীতে তড়িতাধান প্রবাহিত হইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না উভয়ের বিভব সমান

হয়। যদি মনে করা যায়, $V_1 > V_2$ তবে A পরিবাহী হইতে B পরিবাহীতে তড়িতাধানের প্রবাহ হইবে। ধর, সংযোগের পর উভয়ের সমবিভব (common potential) হইল V.

যেহেতু সংযোগের পূর্বে মোট যে তড়িতাধান ছিল পরেও তাহা রহিল, সেই হেতু

$$Q = Q_1 + Q_2 \text{ অথবা, } V(C_1 + C_2) = V_1C_1 + V_2C_2$$

$$\therefore V = \frac{C_1V_1 + V_2C_2}{C_1 + C_2} = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2} = \frac{\text{মোট আধান}}{\text{মোট ধারকত্ব}} = \frac{Q}{C_1 + C_2}$$

সংযোগের পর A এবং B পরিবাহীতে আধান বন্টন হইয়া যদি যথাক্রমে q_1 এবং q_2 আধান থাকে,

$$\text{তবে } q_1 = C_1V = C_1 \frac{(Q_1 + Q_2)}{C_1 + C_2} = \frac{C_1Q}{C_1 + C_2}$$

$$\text{এবং } q_2 = C_2V = C_2 \times \frac{(Q_1 + Q_2)}{C_1 + C_2} = \frac{C_2Q}{C_1 + C_2}$$

পরিবাহী যদি গোলক হয় এবং উহাদের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে R_1 এবং R_2 হয় তবে আমরা জানি, $C_1 = R_1$ (সংখ্যাগতমানে) এবং $C_2 = R_2$; কাজেই,

$$q_1 = \frac{R_1Q}{R_1 + R_2} \text{ এবং } q_2 = \frac{R_2Q}{R_1 + R_2}$$

[দ্রঃ ইহা প্রমাণ করা যায় যে পরিবাহীদ্বয়ের ভিতর আধান বন্টনের ফলে সর্বদা কিছু তড়িৎশক্তি ক্ষয় হয়। শক্তির সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী যেহেতু শক্তির বিনাশ সম্ভব নয়, উক্ত শক্তি অন্যান্য শক্তিরূপে আত্মপ্রকাশ করিবে। যেমন, পরিবাহীদ্বয়ের ভিতর বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হইয়া তাপ, শব্দ এবং আলোকশক্তির সৃষ্টি করিবে।]

Examples (1) 15 unit ধারকত্বের একটি পরিবাহীকে 40 unit বিভবে তড়িতাহিত করা হইল এবং উহার সহিত একটি তড়িৎবিহীন গোলকের সংযোগ করিলে উভয়ের সমবিভব 30 unit এ গিয়া দাঁড়াইল। ঐ গোলকের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর এবং সংযোগের পর উভয়ের তড়িতাধান কত তাহা নির্ধারণ কর।

উ। এক্ষেত্রে $C_1 = 15$ units এবং $V_1 = 40$ units.

কাজেই উহার তড়িতাধান $Q = C_1V_1 = 40 \times 15 = 600$ units.

$$\text{এখন, সমবিভব } V = \frac{\text{মোট তড়িতাধান}}{\text{মোট ধারকত্ব}} = \frac{600}{15 + C_2}$$

$$\text{অতএব, } 30 = \frac{600}{15 + C_2} \text{ অথবা, } C_2 = 5 \text{ units}$$

অর্থাৎ গোলকের ব্যাসার্ধ $= \underline{5 \text{ cm.}}$

$$\text{আবার, } q_1 = \frac{C_1Q}{C_1 + C_2} = \frac{15 \times 600}{15 + 5} = \underline{450 \text{ units.}}$$

$$\text{এবং } q_2 = \frac{C_2Q}{C_1 + C_2} = \frac{5 \times 600}{15 + 5} = \underline{150 \quad ,,}$$

(2) পৃথিবীকে 6400 কিলোমিটার ব্যাসার্ধের একটি সম্পূর্ণ গোলক মনে করিলে উহার ধারকত্ব মাইক্রোফ্যারাড এককে কত হইবে? 1 মাইক্রোফ্যারাড $=9\times10^5$ ই. এস্. ইউ.।

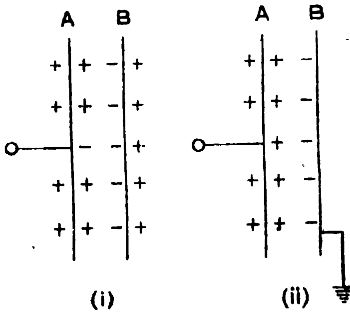
উ। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=6400$ কিলোমিটার $=6400\times10^5$ সে. মি.

কাজেই, ধারকত্ব $=6400\times10^5$ ই. এস্. ইউ. $=\dfrac{6400\times10^5}{9\times10^5}$

$=711\cdot1$ মাইক্রো-ফ্যারাড।

3.7 ধারক এবং উহার মূলনীতি (Capacitor and its principle) **:** একটি অন্তরিত পরিবাহী (insulated conductor) এবং আর একটি ভূসংলগ্ন পরিবাহী কাছাকাছি রাখিয়া উহাদের ভিতরকার স্থান বায়ু বা অন্য কোন অপরিবাহী মাধ্যম দ্বারা পূর্ণ করিলে যে ব্যবস্থা হয় তাহাকে **তড়িৎধারক** বলা হয়। তড়িতাধান জমা করিবর জন্য ধারক ব্যবহার করা হয়। কার্যক্ষেত্রে ব্যবহৃত ধারকের সরল জ্যামিতিক আকার থাকে। যেমন সমান্তরাল পাত ধারক (parallel plate capacitor)-এ দুইটি সমান্তরাল ধাতবপাত মুখোমুখি রাখা হয় অথবা গোলীয় ধারকে দুইটি বিভিন্ন ব্যাসার্ধবিশিষ্ট সমকেন্দ্রীক গোলক থাকে। ধারকের কার্যনীতি আমরা নিম্নলিখিত বিবরণ হইতে বুঝিতে পারিব।

কার্যনীতি : মনে কর, A একটি অন্তরিত ধাতবপাত এবং তড়িৎযন্ত্রের সাহায্যে উহাকে এমনভাবে তড়িতাধান দেওয়া হইল যে পাতটির বিভব হইল $+V$; এখন উহার নিকটে অনুরূপ আর একখানি ধাতব পাত B আনিলে তড়িতাবেশের উদ্ভব হইবে এবং B পাতের ভিতরের পিঠ ঋণাত্মক আধান এবং বাহিরের পিঠ ধনাত্মক আধান পাইবে [চিত্র নং 3.4(i)]। এখন, B পাতের ঋণাত্মক আধান A পাতের ধনাত্মক বিভবকে কিছু কমাইয়া দিবে; আবার B পাতের ধনাত্মক আধান A পাতের ধনাত্মক বিভবকে কিছু বাড়াইয়া দিবে। কিন্তু B পাতের ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত পৃষ্ঠ A পাতের কাছে থাকায় A পাতের বিভব মোটের উপর সামান্য কমিয়া যাইবে। ফলে, A পাতের ধারকত্ব কিছু বাড়িবে, কারণ আমরা জানি, $C\propto\frac{1}{V}$—অর্থাৎ বিভব কমিলে ধারকত্ব বাড়ে। A পাতের ধারকত্ব কিছু বৃদ্ধি পাওয়ায় ঐ পাত আরো কিছু তড়িতাধান গ্রহণ করিতে পারিবে এবং বিভব পুনরায় V হইবে। এখন B পাতকে ভূসংলগ্ন করিলে, উহার ধনাত্মক আধান ভূমিতে চলিয়া যাইবে



চিত্র 3·4

[চিত্র নং 3.4 (ii)]। ঐ আধান A পাতের বিভবকে বাড়াইবার যে-চেষ্টা করিতেছিল, এখন আর তাহা করিবে না। ফলে, A পাতের বিভব আরো হ্রাস পাইবে এবং পুনরায় বিভব V-এর সমান করিতে আরো বেশী তড়িতাধান A পাতে দিতে হইবে—অর্থাৎ উহার ধারকত্ব আরো বৃদ্ধি পাইবে।

ভূসংলগ্ন কোন পরিবাহীকে অন্য একটি অন্তরিত পরিবাহীর নিকটে আনিয়া কৃত্রিম উপায়ে অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধির উপরোক্ত ব্যবস্থাকে ধারক বলে।

ধারকের সার্থকতা (Significance of a capacitor)ঃ প্রশ্ন উঠিতে পারে যে অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্ব কৃত্রিম উপায়ে বৃদ্ধি করার সার্থকতা কি? ব্যবহারিক ক্ষেত্রে দেখা যায় যে বিশেষ ধরণের কাজের জন্য তড়িতাধান জমা করিয়া রাখিবার প্রয়োজন হয়। অল্প পরিমাণ স্থানে বেশী পরিমাণ আধান জমা করিবার উদ্দেশ্যেই তড়িৎ-ধারকের সৃষ্টি।

কোন পরিবাহীতে তড়িতাধান দিতে থাকিলে উহার বিভব ক্রমশ বাড়িতে থাকে এবং শেষ পর্যন্ত উহার বিভব যথেষ্ট বাড়িয়া গেলে পরিবাহী হইতে আধান ক্ষরিত (leak) হইতে থাকে। সাধারণ অবস্থায় কোন পরিবাহীর তড়িৎ-ধারণ ক্ষমতার একটি চরম মাত্রা আছে এবং উহা পরিবাহীর আকার, সাইজ, মাধ্যম ইত্যাদি কয়েকটি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল। কোন উপায়ে যদি এই অবস্থায় পরিবাহীর বিভব হ্রাস করানো যায় তাহা হইলে তড়িৎ-ক্ষরণ বন্ধ হয় এবং পরিবাহী আরো কিছু আধান ধরিতে সমর্থ হয়। নিম্নতর বিভবে থাকিয়া পরিবাহীকে বেশী আধান ধরিয়া রাখিবার উপযোগী করাই তড়িৎ-ধারকের কাজ। 3.4 নং চিত্রে ধারকের যে কার্যপ্রণালী বলা হইয়াছে সেখানে B পরিবাহী না থাকিলে A পাতে যে-পরিমাণ আধান সঞ্চিত হইলে পাত হইতে তড়িৎক্ষরণ সুরু হইত, B পরিবাহীর উপস্থিতিতে তাহা অপেক্ষা বেশী আধান A পাতে জমা করা যাইবে।

3.8 ধারকের ধারকত্ব ও বিভব (Capacitance and potential of a capacitor)ঃ ধারক দুইটি পরিবাহী দ্বারা গঠিত; উহাদের মধ্যে একটি অন্তরিত এবং অপরটি ভূসংলগ্ন। ধারকের ধারকত্ব বলিতে অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্বই বুঝায়।

সংজ্ঞা ঃ ধারকের দুই পরিবাহীর একক মাত্রায় বিভব-পার্থক্য সৃষ্টি করিতে উহার অন্তরিত পরিবাহীতে যে-পরিমাণ তড়িতাধান রাখা প্রয়োজন, তাহাকেই ধারকের ধারকত্ব বলা হয়।

$$\text{অর্থাৎ, ধারকের ধারকত্ব} = \frac{\text{অন্তরিত পরিবাহীর আধান}}{\text{পরিবাহীদের বিভব-পার্থক্য}}$$

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে ধারকত্ব সর্বদাই একটি ধনাত্মক রাশি; আধান বা বিভবের ন্যায় ইহা ঋণাত্মক হয় না। তাছাড়া, পরিবাহী এবং ধারকের ধারকত্ব একই এককে প্রকাশ করা হয়। অনুরূপভাবে, ধারকের বিভব বলিতে উহার অন্তরিত পরিবাহীর বিভব বুঝায়। অপর পরিবাহী ভূসংলগ্ন বলিয়া উহার বিভব সর্বদা শূন্য। কাজেই ধারকের বিভব বলিতে উহার অন্তরিত পরিবাহী এবং ভূসংলগ্ন পরিবাহীদের বিভব-পার্থক্যও বলা যাইতে পারে।

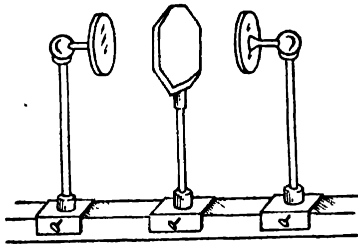
3.9 আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব (Specific inductive capacity)ঃ ধারকের দুই পরিবাহীর ভিতরে যে-মাধ্যম থাকে তাহাকে **পরা-বিদ্যুৎ** (dielectric) বলা হয়। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে ধারকের পরাবিদ্যুৎ হিসাবে বায়ুর পরিবর্তে প্যারাফিন, গন্ধক, কাচ, ইবোনাইট, অভ্র প্রভৃতি অপরিবাহী বস্তু ব্যবহার করিলে ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। এই কারণে বলা হয় যে ঐ সকল বস্তুর আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব বায়ু অপেক্ষা বেশী। কোন ধারক-এ ঐরূপ কোন পরাবিদ্যুৎ ব্যবহার করিলে যে ধারকত্ব হয় এবং

বায়ু মাধ্যম ব্যবহার করিলে যে-ধারকত্ব হয়, এই দুই ধারকত্বের অনুপাতকে ঐ পরাবিদ্যুতের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব বলা হয়। অতএব,

$$\text{কোন পরাবিদ্যুতের আ. আ. ধারকত্ব } (K) = \frac{\text{ধারকে ঐ মাধ্যম লইয়া ধারকত্ব}}{\text{ধারকে বায়ু লইয়া ধারকত্ব}}$$

যেমন, কোন ধারক-এ পরাবিদ্যুৎ হিসাবে কাচ ব্যবহার করিলে উহার ধারকত্ব বায়ু মাধ্যম অবস্থায় ধারকত্ব অপেক্ষা প্রায় 8·5 গুণ হয়; অর্থাৎ কাচের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব = 8·5। উল্লেখযোগ্য যে আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্বকে **পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক** (di-electric constant) ও বলা হয়।

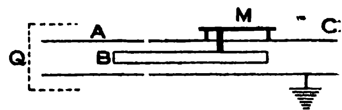
3·10 বিভিন্ন প্রকারের ধারক (Different types of capacitors) ঃ **(i) সমান্তরাল পাত ধারক** (Parallel plate capacitor) ঃ যে কোন আকারের দুইটি ধাতব পাতকে পরস্পর হইতে সামান্য দূরে সমান্তরাল ভাবে রাখিয়া ধারক গঠন করিলে উহাকে সমান্তরাল ধারক বলা হয়। 3·5 (i) নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ পাত দুইটির মধ্যে একখানি কাচের প্লেট রাখিলে উহাকে এপিনাসের সমান্তরাল পাত ধারক বলা হয়।



চিত্র 3·5(i)

(ii) গোলীয় ধারক (Spherical capacitor) ঃ দুইটি সমকেন্দ্রিক গোলক লইয়া যে কোন একটিকে তড়িতাহিত করিয়া অপরটিকে ভূসংলগ্ন করিলে গোলীয় ধারক গঠিত হয়। গোলক দুইটির ভিতরকার জায়গা বায়ু অথবা অন্য কোন মাধ্যম দ্বারা ভর্তি করা যাইতে পারে।

(iii) চোঙাকৃতি ধারক (Cylindrical capacitor) ঃ এই ধারকে দুইটি সমাক্ষীয় চোঙ থাকে। A চোঙ তড়িতাহিত এবং স্থির। উহার খুব নিকটে সামান্য বায়ুপূর্ণ স্থান ফাঁক রাখিয়া একই ব্যাসের অপর চোঙ C একই অক্ষ বরাবর স্থাপিত থাকে [চিত্র নং 3·5(ii)]। C চোঙ রাখিবার উদ্দেশ্য হইতেছে A চোঙের প্রান্ত-ভাগে বলরেখাগুলির যাহাতে কোনরূপ বিকৃতি না হয়। অভ্যন্তরস্থ ভূসংলগ্ন চোঙ B বাহিরের A



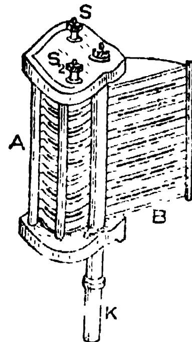
চিত্র 3·5(ii)

চোঙের সহিত সমাক্ষীয় এবং উহাকে অক্ষ বরাবর সামনে-পিছনে সরানো যায়। B চোঙের সহিত যে মাইক্রোমিটার স্ক্রু (M) থাকে তাহা হইতে ঐ চোঙের সরণ মাপা যায়। বাহিরের কোন বৈদ্যুতিক প্রভাব যাহাতে ধারককে প্রভাবিত করিতে না পারে এই উদ্দেশ্যে তড়িতাহিত A-চোঙকে ভূসংলগ্ন আর একটি চোঙ (চিত্রে কাটা লাইন দিয়া দেখানো হইয়াছে) দ্বারা আচ্ছাদিত রাখা হয়।

(iv) পরিবর্তনীয় বায়ু ধারক (Variable air capacitor) ঃ ইহা বস্তুত একটি পরিবর্ধিত সমান্তরাল পাত বায়ু-ধারক। ইহার সুবিধা এই যে ইচ্ছামত ইহার ধারকত্ব বাড়ানো-

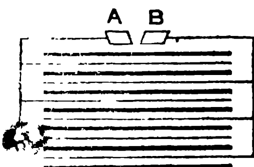
কমানো যায়। বেতার গ্রাহক যন্ত্র এবং অন্যান্য ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে ইহার বহুল ব্যবহার আছে। ইহাতে দুই সারি অ্যালুমিনিয়াম প্লেট আছে; এক সারি স্থির এবং অন্য সারিকে ঘুরানো যায়। ঘূর্ণনক্ষম সারিকে আস্তে আস্তে ঘুরাইলে দুই সারির ভিতর প্রাবরিত ক্ষেত্রফল (area of overlap) পরিবর্তিত হইবে এবং তাহাতে ধারকের ধারকত্বও ধীরে ধীরে পরিবর্তিত হইবে। প্রতি দুইটি প্লেটের ভিতর বায়ু পরা-বিদ্যুতের কাজ করে। বায়ু-পূর্ণ স্থানের বেধ যত কম হইবে, ধারকত্ব তত বৃদ্ধি পাইবে।

3·5(iii) নং চিত্রে একটি পরিবর্তনীয় বায়ুধারকের আকৃতি দেখানো হইয়াছে। প্লেটগুলির আকার এমন থাকে যে K-বর্তুল ধীরে ধীরে একই দিকে ঘুরাইতে থাকিলে দুই সারি প্লেটের প্রাবরিত ক্ষেত্রফল সুষমভাবে হ্রাস বা বৃদ্ধি পায়; ফলে, ধারকত্বের সুষম পরিবর্তন ঘটে। চিত্রে A প্লেটগুলি স্থির এবং B প্লেটগুলি ঘূর্ণনক্ষম। A প্লেটগুলি S_1 বন্ধনীতে এবং B প্লেটগুলি S_2 বন্ধনীতে যুক্ত।



চিত্র 3·5(iii)

(v) **অভ্র-ধারক বা ব্লক-ধারক** (Mica capacitor or block capacitor) : ইহা প্রকৃতপক্ষে কয়েকটি সমান্তরাল পাত ধারকের সমান্তরাল সমবায়। আকারে ইহা একটি ক্ষুদ্র ফলক বা ব্লকের ন্যায় বলিয়া ইহাকে অনেক সময় ব্লক ধারক বলা হয় [চিত্র 3·5(iv)]। ইহার ধারকত্ব স্থির (fixed) কিন্তু বিভিন্ন স্থির ধারকত্বের ব্লক ধারক পাওয়া যায়। বেতার গ্রাহক যন্ত্রে এই ধরণের ব্লক ধারকের বহু ব্যবহার আছে। এই ধারক নির্মাণ করা হয় কতকগুলি টিনপাত পরপর রাখিয়া এবং প্রত্যেক দুইটি পাতের ভিতর পাতলা অভ্রের চাদর রাখিয়া। চিত্রে সরু লাইনগুলি টিনপাত এবং মোটা লাইনগুলি অভ্রের চাদর বুঝাইতেছে। বলা বাহুল্য, টিনপাতগুলি ধারকের প্লেটের কাজ করে এবং অভ্রের চাদর পরাবিদ্যুতের কাজ করে।

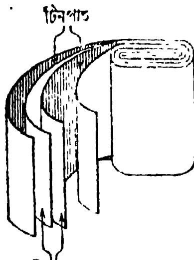


চিত্র 3·5(iv)

এক্ষেত্রে, অযুগ্ম পাতগুলি একসঙ্গে যুক্ত করিয়া A বন্ধনীর সহিত সংযোগ করা হয় এবং যুগ্ম পাতগুলি আবার একসঙ্গে যুক্ত করিয়া B বন্ধনীর সহিত সংযোগ করা হয়। ফলে, ধারকগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত হইয়া একটি বড় ধারকে পরিণত হয়।

(vi) **কাগজ-ধারক** (Paper capacitor) : এই ধারক নির্মাণ করা হয় দুইটি টিন অথবা অ্যালুমিনিয়াম পাতের মধ্যে প্যারাফিন মোমে ভিজানো দীর্ঘ, পাতলা কাগজের ফালি রাখিয়া। কাগজের ফালিসহ পাত দুইটিকে পাকাইয়া (rolled) চোঙাকৃতি করা হয়। অতঃপর পুনরায় ইহাকে প্যারাফিনে ভিজাইয়া লওয়া হয়। বলা বাহুল্য, ইহাও একটি সমান্তরাল পাত ধারক; টিন বা অ্যালুমিনিয়াম পাতদ্বয় ধারকের প্লেট এবং পাকানো প্যারাফিনযুক্ত কাগজ পরাবিদ্যুৎ। পাকাইয়া রাখার ফলে ইহার আয়তন খুব ছোট হয়। তাছাড়া, প্যারাফিনযুক্ত

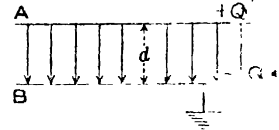
কাগজ মাধ্যম হিসাবে ব্যবহার করাতে ইহা খুব কম মূল্যে পাওয়া যায়। 3·5(v) নং চিত্রে একটি কাগজ ধারক দেখানো হইয়াছে।



চিত্র 3·5(v)

3·11 কয়েকটি ধারকের ধারকত্ব হিসাব (Calculation of capacitance of some type of capacitors) :

(ক) সমান্তরাল পাত ধারক (Parallel plate capacitor) : ধারকের তড়িতাহিত পাত A এবং ভূসংলগ্ন পাত B যদি সমান আকার ও আকৃতিবিশিষ্ট হয় (চিত্র 3·6) এবং যদি খুব কাছাকাছি থাকে তাহা হইলে আমরা মনে করিতে পারি যে, পাতদ্বয়ের মধ্যে বলরেখাগুলি ঋজু ও সমান্তরাল। ফলে, ঐ পাত দুইটির ভিতরে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য সর্বত্র সমান হইবে।



চিত্র 3·6

ধর, যে কোন পাতের ক্ষেত্রফল $=\alpha$ sq.cm.

A-পাতের তড়িতাধান $=+Q$ e.s.u.

পাতদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব $=d$ cm.

মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $=K$.

A-পাতের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $\sigma=\frac{Q}{\alpha}$; যদি পাত দুইটির মধ্যে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য E ধরা যায়, তবে প্রমাণ করা যায় যে $E=\frac{4\pi\sigma}{K}$. [2·4 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]

পাত দুইটির বিভব-পার্থক্য V হইলে, (B-পাত ভূসংলগ্ন বলিয়া শূন্য বিভব পায়) $V=$একটি একক তড়িতাধান (ধনাত্মক)-কে B প্লেট হইতে A প্লেটে আনিতে কৃত কার্য $=$ একক আধানের উপর প্রযুক্ত বল $\times$ দূরত্ব $=\frac{4\pi\sigma}{K}\times d$.

ধারকের ধারকত্ব C হইলে, $C=\frac{Q}{V}=\frac{Q}{\frac{4\pi\sigma d}{K}}=\frac{K.Q}{4\pi\sigma d}$.

A-প্লেটের তড়িতাধান $Q=\alpha.\sigma$; $\therefore \quad C=\frac{K.\alpha.\sigma}{4\pi\sigma d}=\frac{K.\alpha}{4\pi d}$ e.s.u.

যদি পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম বায়ু হয়, তবে $K=1$ এবং সেক্ষেত্রে $C=\frac{\alpha}{4\pi d}$ e.s.u.

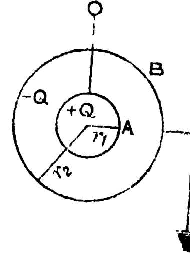
(খ) গোলীয় ধারক (Spherical capacitor) : ধর, ভিতরের গোলকটির ব্যাসার্ধ r_1 এবং বাহিরের গোলকটির r_2 ; ভিতরের গোলক-কে $+Q$ আধান দেওয়া হইল এবং

বাহিরের গোলকটি ভূসংলগ্ন [চিত্র 3·7]। ভিতরের গোলক A-র বিভব V হইলে,

$V=$ নিজস্ব $(+Q)$ তড়িতাধানের জন্য বিভব $+$আবিষ্ট

তড়িতাধানের $(-Q)$ জন্য বিভব $=\frac{Q}{r_1}-\frac{Q}{r_2}$

$$=Q\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)=Q\left(\frac{r_2-r_1}{r_1r_2}\right)$$



চিত্র 3·7

ধারকের ধারকত্ব C হইলে, $C=\frac{Q}{V}=\frac{Q}{Q\left(\frac{r_2-r_1}{r_2r_1}\right)}$

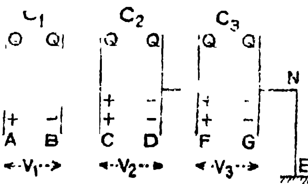
$$=\frac{r_2r_1}{r_2-r_1}\text{ e. s. u.}$$

যদি পরিবাহীদ্বয়ের ভিতরকার মাধ্যম বায়ু না হইয়া অন্য কিছু হয় যাহার পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক K, তবে, $C=\frac{K.r_2r_1}{r_2-r_1}$ e.s.u.

[প্রঃ যদি ভিতরের গোলকটি ভূসংলগ্ন হয় এবং বাহিরের গোলকটি তড়িতাহিত হয় তবে প্রমাণ করা যায় যে, ঐ ধারকের ধারকত্ব $C=\frac{K.r_2^2}{\quad}$]

3·12 ধারকের সমবায় (Combination of capacitors) :

(ক) **শ্রেণী সমবায় (Series combination)** : এই সমবায়ে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় প্লেট দ্বিতীয় ধারকের প্রথম প্লেটের সংগে যুক্ত। আবার, দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় প্লেট তৃতীয় ধারকের প্রথম প্লেটের সংগে সংযুক্ত এবং এইভাবে পরপর একাধিক ধারক সমবায়ের অন্তর্ভুক্ত করা হয়। এই ব্যবস্থায় শেষ ধারকের শেষ প্লেট ছাড়া অন্য সব প্লেটগুলি অন্তরিত। শেষ প্লেটটি ভূসংলগ্ন থাকে (চিত্র 3·8)। প্রথম ধারকের প্রথম প্লেট A-কে $+Q$ তড়িতাধান দিলে আবেশের দরুন B প্লেটের ভিতরের দিকে $-Q$ এবং দ্বিতীয় ধারকের প্রথম প্লেট C-তে $+Q$ আধান আবিষ্ট হইবে। এইভাবে আবেশের প্রভাব এক ধারক হইতে অন্য ধারকে কার্যকর হইবে, ফলে, প্রত্যেক ধারকের প্রথম প্লেট $+Q$ এবং দ্বিতীয় প্লেটের ভিতরের পিঠ $-Q$ আধান পাইবে।



চিত্র 3·8

ধারকগুলির প্লেটদ্বয়ের মধ্যে বিভব-প্রভেদ যথাক্রমে V_1, V_2 ইত্যাদি হইলে এবং সমগ্র সমবায়ের প্রথম প্লেট A এবং শেষ প্লেট G-এর মধ্যে বিভব-প্রভেদ V ধরিয়া লইলে,

$$V=V_1+V_2+V_3+\ldots\ldots\quad\ldots\quad\ldots\quad\ldots\qquad(1)$$

ধর, সমগ্র সমবায়ের পরিবর্তে C_s ধারকত্বের একটি ধারক বসানো হইল—যাহা সমগ্র সমবায়ের

তুল্য (equivalent); অর্থাৎ ঐ একক ধারকের প্লেটে $+Q$ তড়িতাধান দিলে প্লেট দুইটির ভিতর বিভব পার্থক্য হইবে V; অতএব, $V=\frac{Q}{C_s}$

আবার, সমগ্র সমবায়ের পৃথক ধারকগুলির ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 ইত্যাদি হইলে আমরা লিখিতে পারি, $V_1=\frac{Q}{C_1}$; $V_2=\frac{Q}{C_2}$ ইত্যাদি।

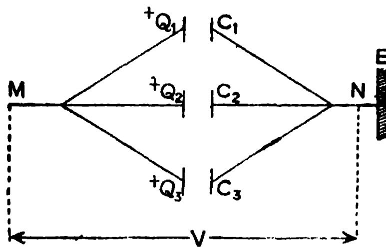
অতএব, (i) নং সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\frac{Q}{C_s} \quad \frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}+\frac{Q}{C_3}+$$

অথবা, $$\frac{1}{C_s}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+ \quad .. \quad ..$$

অর্থাৎ পৃথক ধারকগুলির ধারকত্বের বিপরীত মান (reciprocal value) যোগ দিলে তুল্য ধারকের ধারকত্বের বিপরীত মান পাওয়া যায়। উল্লেখযোগ্য যে শ্রেণী সমবায়ের ফলে মোট তুল্য ধারকত্ব যে-কোন একটি ধারকের ধারকত্ব অপেক্ষা কম হয় কিন্তু এই ব্যবস্থার দ্বারা উচ্চ বিভব-প্রভেদ উৎপন্ন করা যায়।

(খ) **সমান্তরাল সমবায়** (Parallel combination) : এই ব্যবস্থায় বিভিন্ন ধারকের অন্তরিত প্লেটগুলি একটি বিন্দুতে (M) এবং অন্য প্লেটগুলি অন্য এক বিন্দুতে (N) সংযুক্ত। M বিন্দুর সহিত কোন তড়িৎ-উৎস যোগ করা হয় এবং N বিন্দুকে ভূসংলগ্ন রাখা হয় (চিত্র 3·9)। এই ব্যবস্থায় প্রত্যেক পৃথক ধারকের অন্তরিত পাত তড়িৎ-উৎসের সহিত এবং অন্যপাত ভূসংলগ্ন হওয়ায় প্রত্যেক ধারকেরই বিভব-প্রভেদ হইবে V; M বিন্দুতে তড়িতাধান দিলে ধারকগুলির ধারকত্ব অনুযায়ী তড়িতাধান উহাদের মধ্যে ছড়াইয়া পড়িবে। ধারকগুলির তড়িতাধান Q_1, Q_2, Q_3 ইত্যাদি হইলে,



চিত্র 3·9

মোট তড়িতাধান $Q=Q_1+Q_2+Q_3+ \ .... $ (i)

ধর, সমগ্র সমবায়ের পরিবর্তে C_p ধারকত্বের একটি ধারক বসানো হইল—যাহা সমগ্র সমবায়ের তুল্য; অর্থাৎ ঐ একক ধারকের প্লেটে $+Q$ তড়িতাধান দিলে প্লেট দুইটির বিভব পার্থক্য হইবে V; অতএব, $Q=C_p.V$

আবার, সমগ্র সমবায়ের পৃথক ধারকগুলির ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 ইত্যাদি হইলে, আমরা লিখিতে পারি, $Q_1=C_1V$; $Q_2=C_2V$ ইত্যাদি।

অতএব (i) নং সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$C_pV=C_1V+C_2V+C_3V+ \ ......$$

অথবা, $$C_p=C_1+C_2+C_3 \ .. \quad .. \quad ..$$

অর্থাৎ সমান্তরাল সমবায়ের বেলায়, পৃথক ধারকগুলির ধারকত্বের সমষ্টি তুল্য ধারকের ধারকত্বের সমান। উল্লেখযোগ্য যে সমান্তরাল সমবায়ের ফলে মোট ধারকত্ব অনেক বৃদ্ধি পায়।

[দ্রঃ ধারক এবং রোধক (resistor)-এর এই দুই প্রকার সমবায়ের ফলাফল ঠিক বিপরীত।]

Examples ঃ (1) প্রতিটি 500 sq. cm. ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট সমান্তরাল দুইটি ধাতবপাত পরস্পর হইতে 0.075mm দূরত্বে আছে। অন্তর্বর্তী স্থান 6·5 পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বিশিষ্ট অভ্র দ্বারা পূর্ণ হইলে, এই সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব মাইক্রোফ্যারাডে নির্ণয় কর।

উ। আমরা জানি, সমান্তরাল পাত ধারকের বেলায়, $C=\frac{K.\alpha}{4\pi d}$ e. s. u.

$$\text{কাজেই, } C=\frac{6{\cdot}5\times500}{4\times3{\cdot}14\times{\cdot}0075}\text{ e. s. u.}$$

$$=\frac{6{\cdot}5\times500}{4\times3{\cdot}14\times{\cdot}0075\times9\times10^5}\,\mu F={\cdot}035\ \mu F$$

(2) একটি গোলীয় ধারকের দুই গোলকের অন্তর্বর্তী স্থান 2 cm. পুরু বায়ু দ্বারা পূর্ণ। উহার ধারকত্ব 120cm. ব্যাসের একটি গোলকের ধারকত্বের সমান হইলে, গোলীয় ধারকের দুই গোলীয় তলের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

উ। গোলীয় ধারকের বেলায় আমরা জানি, $C=\frac{r_2r_1}{r_2-r_1}$.

প্রশ্নানুযায়ী, $C=60$ units ; $r_2-r_1=2$cm

$$\therefore\ 60=\frac{r_2r_1}{2}\ \text{ অথবা, }\ r_2r_1=120$$

এখন, আমরা পাইলাম, $r_2-r_1=2$ এবং $r_1\,r_2=120$
সমীকরণ দুইটি সমাধান করিলে পাই, $r_1=10$cm. এবং $r_2=12$cm.

3·13. **আহিত ধারকে সঞ্চিত শক্তি** (Energy stored in a charged capacitor) ঃ ধারককে আহিত করিতে যে-কার্য সম্পাদিত হয় তাহাই ধারকে স্থিতিশক্তি রূপে সঞ্চিত থাকে। 3·5 অনুচ্ছেদের মত প্রমাণ করা যায় যে, কোন ধারকের তড়িতাধান Q, ধারকত্ব C এবং ধারকের পাতদ্বয়ের বিভব-প্রভেদ V হইলে, ধারকের স্থিতিশক্তি

$$W=\frac{1}{2}\cdot\frac{Q^2}{C}=\frac{1}{2}\ Q.V=\frac{1}{2}.\ C.V^2$$

যদি Q কুলম্বে, V ভোল্টে এবং C ফ্যারাডে প্রকাশ করা হয়, তবে W জুল এককে প্রকাশিত হইবে।

সমান্তরাল পাত ধারকের ক্ষেত্রে আমরা জানি $\frac{1}{C}=\frac{4\pi d}{K.A.}$; ধারকের তড়িতাহিত প্লেটের

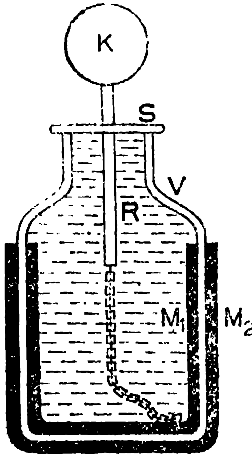
আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব σ হইলে, $Q=A.\sigma$. কাজেই, সমান্তরাল-পাত ধারকের স্থিতিশক্তি $W=\frac{1}{2}\,\frac{Q^2}{C}=\frac{1}{2}.\,\frac{A^2\sigma^2\times 4\pi d}{K.\,A.}=\frac{2\pi\sigma^2.Ad}{K.}$ [A=পাতের ক্ষেত্রফল]

Example : 1 sq. metre ক্ষেত্রফলযুক্ত দুইটি পিতলের প্লেট পরস্পর হইতে 10 cm. দূরে সমান্তরাল ভাবে রাখিয়া একটি সমান্তরাল-পাত ধারক তৈয়ারী করা হইয়াছে। প্লেট দুইটির ভিতরকার জায়গা একটি কাচফলক অধিকার করিলে এবং ধারকের তড়িতাহিত প্লেটের তলমাত্রিক ঘনত্ব ·01 কুলম্ব/বর্গ সে.মি. হইলে, ধারকের স্থিতিশক্তি নির্ণয় কর। কাচের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব=8

Ans. ধারকের স্থিতিশক্তি $W=\frac{2\pi\sigma^2 A.d.}{K}$; এক্ষেত্রে σ=·01 কুলম্ব/বর্গ সে. মি. ; A=1বর্গ মিটার ; d=10 সে.মি. এবং K=8.

অতএব, $W=\frac{2\times 3\cdot 14\times(\cdot 01)^2\times(100)^2\times 10}{8}=\frac{2\times 3\cdot 14\times 10}{8}=7\cdot 85$ জুল।

3·14. **লিডেন জার** (The Leyden jar) : সর্বপ্রথম যে-সকল ধারক নির্মাণ করা হইয়াছিল, লিডেন জার তাহাদের মধ্যে অন্যতম। 1745 খ্রীষ্টাব্দে হল্যাণ্ডের লিডেন সহরে এই ধারকের উদ্ভাবন হয় বলিয়া ইহার নামকরণ ঐ সহরের নামানুসারে করা হইয়াছে। গঠনের দিক হইতে ইহাকে সমান্তরাল পাত ধারক বলা যাইতে পারে।



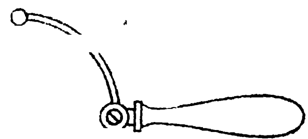
চিত্র 3·10

একটি কাচের জারের (V) তলদেশ এবং দেওয়ালের প্রায় তিন-চতুর্থাংশ—বাহির এবং ভিতর উভয় দিকেই —টিনের পাত দিয়া মোড়া [চিত্র 3·10] টিনের পাত দুইটিকে (M_1 এবং M_2) ধারকের প্লেট হিসাবে এবং কাচের দেওয়ালকে পরাবিদ্যুৎ (dielectric) হিসাবে গণ্য করা যাইতে পারে। জারের মুখ একটি অন্তরিত ঢাকনা S দ্বারা বন্ধ করা আছে। ঐ ঢাকনার ভিতর দিয়া একটি কাচদণ্ড R ঢুকানো থাকে। দণ্ডের অপর প্রান্তে একটি পিতলের বর্তুল K যুক্ত থাকে। বর্তুলের সহিত জারের অভ্যন্তরস্থ টিনপাতের (M_1) তড়িৎসংযোগ করা হয় একটি পিতলের শিকলের সাহায্যে। শিকলটি R-দণ্ডের একপ্রান্ত হইতে ঝুলানো থাকে। এই ধারকের ধারকত্ব $C=\frac{K.A.}{4\pi d}$; এক্ষেত্রে K=কাচের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক ; A=বাহিরের এবং ভিতরের টিনপাত দুইটির দ্বারা আচ্ছাদিত ক্ষেত্রফল ; d=কাচের বেধ।

লিডেন জারকে তড়িতাহিত করিতে হইলে উহার বাহিরের টিন-পাতকে (M_2) হাত দিয়া

ধরিয়া (অর্থাৎ ভূ-সংলগ্ন রাখিয়া) বর্তুলকে তড়িৎযন্ত্রের সহিত সংযোগ করাইতে হইবে। ইহাতে লিডেন জার তড়িতাহিত হইবে। বর্তুলে ঋণাত্মক তড়িতাধান দিলে M_1 পাত ঋণাত্মক তড়িতাধান পাইবে এবং ঐ তড়িৎ M_2 পাতের ভিতরের দেওয়ালে ধনাত্মক আধান এবং বাহিরের দেওয়ালে ঋণাত্মক আধান আবিষ্ট করিবে। কিন্তু M_2 পাত ভূসংলগ্ন বলিয়া মুক্ত ঋণাত্মক আবিষ্ট আধান ভূমিতে চলিয়া যাইবে। লিডেন জারকে ধনাত্মক আধানে আহিত করিতে হইলে বর্তুলে ধনাত্মক তড়িতাধান দিতে হইবে।

লিডেন জারকে **তড়িৎমুক্ত** (discharge) করিতে হইলে, একটি ক্ষরণ-চিমটার (discharging tongs) সাহায্য লইতে হইবে। 3·11 নং চিত্রে ঐরূপ একটি চিমটা দেখানো হইয়াছে। ইহা পিতলের তৈরী এবং হাতলটি একটি অন্তরক পদার্থের দ্বারা নির্মিত। চিমটার একটি বর্তুল জারের বাহিরের টিনপাতের সহিত স্পর্শ করাইয়া অপর বর্তুলকে আস্তে আস্তে লিডেন জারের K বর্তুলের খুব কাছে আনিলে একটি অগ্নিস্ফুলিঙ্গের (spark) সৃষ্টি হইবে। এবং লিডেন জার কিছু পরিমাণে তড়িৎমুক্ত হইবে। চিমটাকে পুনরায় ঐ অবস্থায় আনিলে অপেক্ষাকৃত ক্ষীণ আর একটি স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হইবে। ইহা প্রমাণ করে যে, লিডেন জারকে একবারেই তড়িৎমুক্ত করা যায় না। চিমটাকে কয়েকবার পূর্বের অবস্থায় আনিয়া ধীরে ধীরে লিডেন জারকে তড়িৎমুক্ত করা হয়। ইহার মূল কারণ এই যে, লিডেন জারের তড়িতাধান পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম কাচে অবস্থান করে এবং এই কারণে কাচ বিকৃত (strained) হয়। একবারেই কাচের মত কঠিন বস্তুর বিকৃতি দূর করা যায় না।



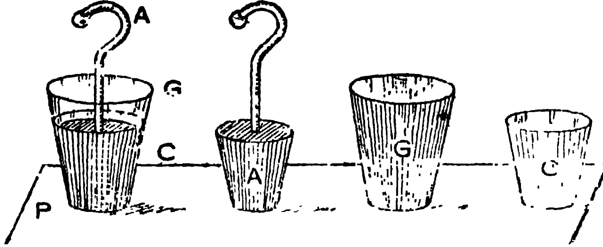

চিত্র 3·11

প্রথমবার চিমটার সাহায্যে তড়িৎমোক্ষণ প্রণালী অবলম্বন করার পর, কাচের বিকৃতির দরুন যে তড়িতাধান ধারকে থাকিয়া যায় তাহাকে **অবশিষ্ট তড়িতাধান** (residual charge) বলে। এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে ধারকের মাধ্যম বায়ু হইলে অবশিষ্ট তড়িতাধান থাকে না। তখন ধারককে একবারেই তড়িৎমুক্ত করা যায়।

3·15. **লিডেন জারে তড়িতাধানের অবস্থিতি** (Seat of charge in a Leyden jar) : তড়িতাহিত লিডেন জারের তড়িতাধান কোথায় অবস্থান করে? টিনের পাত দুইটিতে না কাচপাত্রের দেওয়ালে? বিভিন্ন অংশ পৃথক করা যায় এমন একটি লিডেন জার লইয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে তড়িতাধান কাচপাত্রের দেওয়ালে—অর্থাৎ পরাবিদ্যুতে অবস্থান করে। এই কারণে ধারকের পরাবিদ্যুৎ খুব গুরুত্বপূর্ণ। ধারকের টিনের পাত দুইটি কেবলমাত্র তড়িৎ পরিবাহীর কাজ করে।

A এবং C দুইটি পৃথক ধাতব আবরণ এবং G একটি কাচপাত্র (চিত্র 3·12)। C-কে কাচপাত্রের বাহিরে এবং A-কে ভিতরে রাখিয়া সম্পূর্ণ ধারক গঠন করা হয় [প্রথম চিত্র]। ধারক-কে তড়িৎযন্ত্রের সাহায্যে তড়িতাহিত করার পর A আবরণকে এবং G কাচপাত্রকে অন্তরিত

হাতলের সাহায্যে পৃথক করিয়া একখানি কাচ প্লেটের (P) উপর রাখ। এখন নিস্তড়িৎ তড়িৎ-বীক্ষণের সাহায্যে A এবং C আবরণ দুইটিকে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে উহাতে কোন তড়িৎ নাই। G কাচপাত্রকে পরীক্ষা করিলে উহাতে তীব্র তড়িতের অবস্থিতি প্রমাণিত হইবে।



চিত্র 3·12

এইবার বিভিন্ন অংশকে যথাস্থানে রাখিয়া সম্পূর্ণ ধারক তৈয়ারী করিয়া ক্ষরণ-চিমটার সাহায্যে তড়িৎমোক্ষণ কর। দেখিবে তড়িৎমোক্ষণ হইয়া অগ্নিস্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি হইবে। এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হয় যে ধারকের তড়িতাধান পরাবিদ্যুতে অবস্থান করে।

Exercises

1. পরিবাহীর ধারকত্ব বলিতে কি বোঝ? ধারকত্বের ই. এস্. ইউ. এবং ব্যবহারিক একক কি? উহাদের ভিতর সম্পর্ক কি?

2. পরিবাহীর ধারকত্ব কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে? উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে উহা ব্যাখ্যা কর।

3. প্রমাণ কর পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব গোলকের ব্যাসার্ধের সমান। একটি পরিবাহীর ধারকত্ব 5cm.—এই বাক্যের ব্যাখ্যা কর।

4. একটি আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি প্রকাশ করিয়া একটি রাশিমালা নির্ধারণ কর।

5. 4 unit ধারকত্বের একটি পরিবাহীকে 100 unit ধনাত্মক আধানে আহিত করা হইল এবং 2 unit ধারকত্বের অপর একটি পরিবাহীকে 20 unit ঋণাত্মক আধানে আহিত করিয়া প্রথম পরিবাহীর সহিত যুক্ত করা হইল। এখন, উহাদের বিভব কিরূপ পরিবর্তন করিবে এবং তড়িতাধান কত থাকিবে নির্ণয় কর।

[Ans. প্রথম পরিবাহী: +25 হইতে +13.3units ; +53.3 units
দ্বিতীয় পরিবাহী: −10 হইতে +13.3; +26.7 ,,]

6. 20 এবং 30 units ধারকত্বের দুইটি পরিবাহীকে সরু তার দিয়া যুক্ত করিয়া উহাদের 100 unit তড়িতাধান দেওয়া হইল। উহাদের বিভব এবং তড়িতাধান নির্ণয় কর।

[Ans. বিভব =2units ; q_1=40 units ; q_2=60 units]

7. "একটি অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্ব কৃত্রিম উপায়ে বৃদ্ধি করিবার ব্যবস্থাকেই তড়িৎ ধারক বলে" এই উক্তির যথাযথ ব্যাখ্যা কর।

8. ধারকের ধারকত্ব ও বিভব কাহাকে বলে? আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব কি?

9. বায়ু মাধ্যম সহ একটি সমান্তরাল পাতধারকের বর্ণনা কর এবং উহার ধারকত্বের একটি রাশিমালা নির্ণয় কর। সমান্তরাল পাত দুইটির মধ্যে একখানি ইবোনাইটের খণ্ড প্রবেশ করাইয়া দিলে ধারকত্বের কি পরিবর্তন হয়?

10. একটি গোলীয় ধারকের ধারকত্ব প্রকাশ করিবার একটি রাশিমালা নির্ধারণ কর।

11. কতকগুলি ধারককে (i) সমান্তরাল সমবায়ে এবং (ii) শ্রেণী সমবায়ে আবদ্ধ করিলে তুল্য ধারকত্ব কত হইবে তাহা নির্ণয় কর।

12. একটি ধারক 200 টি বৃত্তাকার টিনপাত দ্বারা তৈরী। প্রত্যেক দুইটি পাত পরস্পর হইতে 0.5 mm. পুরু অভ্রের চাদর দ্বারা পৃথক করা আছে। অভ্রের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 6 এবং একটি অন্তর একটি পাত পরস্পরের সহিত সংযুক্ত। এই ধারকের ধারকত্ব 0·4 মাইক্রোফ্যারাড হইলে, পাতগুলির ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। [Ans. 7.7 cm.]

13. A এবং B দুইটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 4 e.s.u. এবং 9 e s.u.; উহাদের তড়িতাধান দিয়া বিভব যথাক্রমে 1 এবং $\frac{2}{3}$ e.s.u. করা হইল। অতঃপর উহাদের সমান্তরাল সমবায়ে রাখিলে, প্রত্যেকের তড়িতাধান কত হইবে?

[Ans. $q_1 = 3\frac{1}{13}$; $q_2 = 6\frac{12}{13}$ e.s.u.]

14. প্রতিটি 500 sp.cm. ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট সমান্তরাল দুইটি ধাতব পাত পরস্পর হইতে 0.075 cm. দূরত্বে আছে। অন্তর্বর্তী স্থান 6.28 আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্বের অভ্র দ্বারা পূর্ণ হইলে এবং তড়িতাহিত প্লেটের তলমাত্রিক ঘনত্ব 0·1 কুলম্ব/প্রতি বর্গ সে.মি. হইলে, ধারকের স্থিতিশক্তি নির্ণয় কর। [Ans. 0.375 জুল]

15. একটি লিডেন জারের গঠন বর্ণনা কর। ইহাকে তড়িতাহিত করিবার পদ্ধতি কি? তড়িতের অবস্থিতি নির্ণয়ের উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

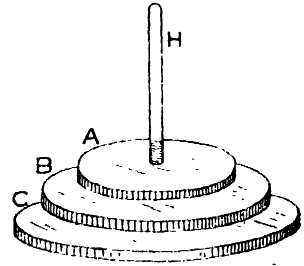
তড়িৎ যন্ত্রাদি

(Electric machines)

4.1 **ভূমিকা** (Introduction) : খুব অল্প সময়ে প্রচুর পরিমাণ ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধান উৎপাদন করিবার যন্ত্রকে তড়িৎযন্ত্র বলা হয়। প্রকৃতপক্ষে এই যন্ত্রগুলি তড়িৎ উৎপাদন করে না; ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানকে পৃথক করিয়া দেয়। তড়িৎযন্ত্র সাধারণত দুই প্রকার :—(i) **ঘর্ষণযন্ত্র** (frictional machines) এবং (ii) **আবেশ যন্ত্র** (induction machines)। ঘর্ষণযন্ত্রের আজকাল আর বিশেষ প্রচলন নাই। এখন প্রায় সব তড়িৎযন্ত্রই আবেশ যন্ত্র। ইহাদের মধ্যে (i) ইলেকট্রোফোরাস এবং (ii) ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটর উল্লেখযোগ্য। এই যন্ত্রগুলির বিবরণ ও কার্যপ্রণালী নীচে আলোচিত হইল।

4.2 **ইলেকট্রোফোরাস** (Electrophorous) : এই যন্ত্রের বিভিন্ন অংশের বর্ণনা নিম্নরূপ (চিত্র নং 4.1)।

(ক) **সংগ্রাহক** A (Collector or Cover) : ইহা ধাতুনির্মিত একখানি চাকতি। একটি অন্তরিত হাতল H ইহার সহিত যুক্ত। আধান সংগ্রহ করে বলিয়া ইহাকে সংগ্রাহক বলা হয়।



চিত্র 4·1

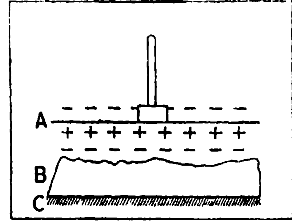
(খ) **উৎপাদক** B (Cake) : ইহা কোন অন্তরক পদার্থ যেমন, এবোনাইট, গালা ইত্যাদি দ্বারা নির্মিত একখানি চাকতি। আকারে সংগ্রাহক অপেক্ষা কিছু বড়। ইহার উপরতল অমসৃণ। এই চাকতিকে ঘষিয়া আধান সৃষ্টি করিয়া সেই আধানকে সংগ্রাহক দ্বারা কাজে লাগানো হয় বলিয়া ইহাকে উৎপাদক বলা হয়।

(গ) **আসন** C (Sole) : ইহা থালার ন্যায় অগভীর একটি পাত। ইহার উপর উৎপাদককে বসানো হয় বলিয়া ইহাকে আসন বলা হয়।

কার্যপ্রণালী : এই যন্ত্রের সাহায্যে তড়িৎ উৎপাদনের জন্য নিম্নলিখিত প্রক্রিয়াগুলি পরপর সম্পন্ন করিতে হইবে।

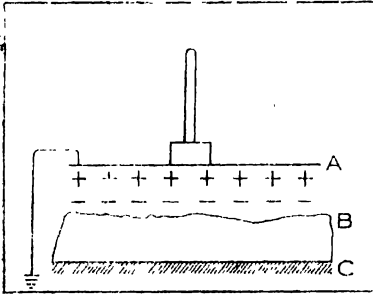
(i) প্রথমে যন্ত্রের বিভিন্ন অংশ এবং এক টুকরা পশম ভালভাবে শুষ্ক করিতে হইবে। রৌদ্রে রাখিয়া ঈষৎ উষ্ণ করিয়া নিলে খুব ভালো হয়। (ii) অতঃপর উৎপাদককে (B) আসনে (C) বসাইয়া পশম দ্বারা উৎপাদককে জোরে ঘষিতে হইবে। ফলে উৎপাদকে ঋণাত্মক তড়িতের উদ্ভব হইবে। (iii) এইবার সংগ্রাহককে (A) অন্তরক হাতল দিয়া ধরিয়া উৎপাদকের উপর

বসাইতে হইবে। উৎপাদকের পিঠ অমসৃণ হওয়ায় সংগ্রাহক ও উৎপাদক চাকতিদ্বয় পরস্পরকে খুব কম সংখ্যক বিন্দুতে স্পর্শ করিবে। প্রকৃতপক্ষে উহারা একটি পাতলা বায়ুস্তর দ্বারা বিচ্ছিন্ন আছে বলিয়া ধরা যাইতে পারে। ফলে, তড়িতাবেশের সৃষ্টি হইবে এবং সংগ্রাহকের তলার পৃষ্ঠে ধনাত্মক ও উপরের পৃষ্ঠে ঋণাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হইবে [চিত্র নং 4.2(i)]। (iv) অতঃপর সংগ্রাহককে হাত দিয়া মুহূর্তের জন্য স্পর্শ করিতে হইবে—অর্থাৎ সংগ্রাহককে ভূসংলগ্ন করিতে হইবে। ইহাতে সংগ্রাহকের উপরের পৃষ্ঠের মুক্ত আধান মাটিতে চলিয়া যাইবে [চিত্র নং4.2(ii)]।



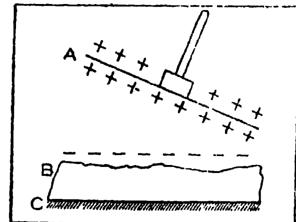
চিত্র 4·2(i)

(v) এইবার অন্তরক হাতল ধরিয়া সংগ্রাহককে আস্তে আস্তে সরাইয়া লইলে সংগ্রাহকের বদ্ধ আধান সংগ্রাহকের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে (চিত্র নং 4.3)। সংগ্রাহকের এই আধান ইচ্ছামত ব্যবহার করা যাইতে পারে।



চিত্র 4·2(ii)

সংগ্রাহকের আধান ব্যবহার করার পর সংগ্রাহক তড়িৎ বিহীন হইলে ইহাকে পুনরায় উৎপাদকের উপর বসাইয়া পূর্ববর্ণিত প্রক্রিয়াগুলি পরপর করিয়া গেলে আবার কিছু আধান পাওয়া যাইবে। এইভাবে, উৎপাদককে একবার আহিত করিয়া সংগ্রাহক দ্বারা বার বার আধান সংগ্রহ করা যাইতে পারে।



চিত্র 4·3

আসনের কার্য (Function of the sole)ঃ ইলেকট্রোফোরাসের উপরোক্ত কার্যপ্রণালীতে আসনের কোন উল্লেখ করা হয় নাই। সুতরাং প্রশ্ন হইবে আসন ব্যবহার করিবার তাৎপর্য কি? ইহার উত্তর নিম্নরূপঃ

দেখা যায় উৎপাদককে একবার মাত্র আহিত করিলে উহার তড়িৎ বহুক্ষণ যাবৎ অপরিবর্তিত থাকে এবং উহা হইতে বার বার আধান সংগ্রহ করা যায়। আসন ব্যবহার করিবার ফলেই উৎপাদকের আধান অক্ষুণ্ণ থাকে। উৎপাদকের ঋণাত্মক আধান আসনের ভিতরের পিঠে ধনাত্মক এবং বাহিরের পিঠে ঋণাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট করে। কিন্তু আসনের বাহিরের পিঠ ভূসংলগ্ন বলিয়া ঋণাত্মক আধান মাটিতে চলিয়া যায়। আসনের বদ্ধ আধান (ধনাত্মক) উৎপাদকের বিপরীত ঋণাত্মক

আধানকে আকর্ষণ করিয়া ঐ আধানকে উৎপাদকের কিছু ভিতরে টানিয়া লয়। ইহার ফলে উৎপাদক হইতে তড়িৎক্ষরণ (leakage of charge) অনেকাংশে নিবারিত হয় এবং উৎপাদক বহুক্ষণ যাবৎ আধান অক্ষুণ্ণ রাখে।

ইলেক্ট্রোফোরাসের কার্যপ্রণালীর বিভিন্ন স্তরে সংগ্রাহকের বিভব পরিবর্তন (Change of potential of the collector at different stages of operation) ঃ ইলেকট্রোফোরাস হইতে সংগ্রাহক কর্তৃক আধান সংগ্রহের সময় বিভিন্ন স্তরে সংগ্রাহকের বিভব পরিবর্তন হয়। এই পরিবর্তন নিম্নরূপ ঃ

(i) যখন সংগ্রাহক ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত উৎপাদকের উপর স্থাপন করা হয় তখন সংগ্রাহক ঋণাত্মক বিভবযুক্ত ক্ষেত্রে প্রবেশ করে বলিয়া উহার বিভব ঋণাত্মক হয়।

(ii) যখন সংগ্রাহককে হাত দিয়া স্পর্শ করা হয় তখন উহা ভূসংলগ্ন হয় এবং উহার বিভব শূন্য হয়।

(iii) যখন সংগ্রাহককে উৎপাদক হইতে ধীরে ধীরে সরাইয়া লওয়া হয় তখন সংগ্রাহক ধীরে ধীরে ধনাত্মক বিভব পাইতে চেষ্টা করে। যখন সংগ্রাহক উৎপাদক হইতে বহুদূরে সরিয়া যায় তখন উহার নিজস্ব ধনাত্মক তড়িতের জন্য বিভবও ধনাত্মক হয়।

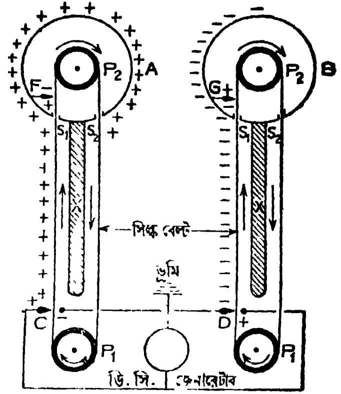
ইলেক্ট্রোফোরাসে তড়িৎশক্তির উৎস (Source of energy of the charge available from an electrophorous) ঃ ইলেকট্রোফোরাসের কার্যপ্রণালী হইতে দেখা যায় যে উৎপাদককে মাত্র একবার ঘর্ষণ করিয়া উহা হইতে বার বার আধান সংগ্রহ করা হয়। ইহা আপাত দৃষ্টিতে শক্তির নিত্যতা সূত্রের বিরোধী বলিয়া মনে হয়। কারণ, এই সূত্র অনুযায়ী অল্প কাজ করিয়া বেশী শক্তি পাওয়া অসম্ভব। সুতরাং প্রশ্ন এই যে, এই তড়িৎশক্তির উৎস কি?

এই প্রশ্নের সমাধান করিতে হইলে একটি কথা স্মরণ রাখিতে হইবে যে সংগ্রাহক ও উৎপাদক সর্বদা বিপরীতধর্মী তড়িৎ কর্তৃক আকর্ষিত হয় এবং এই আকর্ষণের বিরুদ্ধে সংগ্রাহককে সরাইয়া লওয়া হয়। ইহার জন্য কিছু কায়িক শক্তির প্রয়োজন। এই কায়িক শক্তি তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ইহাই যন্ত্রের তড়িৎশক্তির উৎস। সুতরাং এই যন্ত্র হইতে বারবার আধান সংগ্রহের কালে শক্তির নিত্যতা সূত্র খণ্ডিত হয় না।

4.3 **ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটার** (Van de Graaff generator) ঃ এই যন্ত্রের সাহায্যে অন্যান্য সকল যন্ত্র অপেক্ষা বেশী বিভব-প্রভেদ উৎপন্ন করা যায়। আজকাল পারমাণবিক শক্তি গবেষণাগারে এই যন্ত্র খুব ব্যবহৃত হইতেছে। 1931 খ্রীষ্টাব্দে যুক্তরাষ্ট্রের প্রিন্সটন বিশ্ববিদ্যালয়ে রবার্ট ভ্যান-ডি-গ্রাফ এই যন্ত্র নির্মাণ করেন।

সূচীমুখের ক্ষরণ-ক্রিয়া এবং ফাঁপা গোলকের সংগ্রাহক ক্রিয়ার উপর এই যন্ত্রের নীতি প্রতিষ্ঠিত। যদি একটি তড়িতাহিত পরিবাহীকে কোন ফাঁপা পরিবাহীর ভিতরের পৃষ্ঠের সহিত সংস্পর্শে আনা যায় তাহা হইলে তড়িতাধান তৎক্ষণাৎ ফাঁপা পরিবাহীতে স্থানান্তরিত হয়—পরিবাহীদ্বয়ের বিভব যাহাই হউক না কেন।

বিবরণ ঃ এই যন্ত্রের একটি নক্‌শা 4.4 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। A এবং B দুইটি ফাঁপা ধাতব গোলক—প্রত্যেকের ব্যাস প্রায় 50cm. ; কাচ অথবা অন্য কোন অন্তরক পদার্থ নির্মিত বৃহৎ দুইটি স্তম্ভের (XX) উপর উহাদের বসানো থাকে। গোলকদ্বয় একটি ডি, সি, জেনারেটারের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক প্রান্তদ্বয়ের কাজ করে। প্রত্যেক স্তম্ভে উপরে-নীচে এক জোড়া কপিকল (P_1, P_2) আছে। P_1 কপিকলের সহিত একটি বৈদ্যুতিক মোটর যুক্ত এবং P_2 কপিকল ফাঁপা গোলকের মধ্যে অবস্থিত। প্রত্যেক জোড়া কপিকলের গা বাহিয়া সিল্ক অথবা অন্য কোন নমনীয় অন্তরক পদার্থের একটি করিয়া বেল্ট তীরচিহ্নের দিকে ঘুরিতে থাকে। বেল্ট S_1 ছিদ্রের মধ্য দিয়া ফাপা গোলকের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে এবং S_2 ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া আসে।



চিত্র 4·4

কার্যপ্রণালী ঃ দক্ষিণ দিকের বেল্টের D বিন্দুর কাছে যে ক্ষুদ্র গোলক আছে উহা ডি, সি, জেনারেটার হইতে অল্প ধনাত্মক তড়িতাধান পায়। আবেশের জন্য উহার সম্মুখস্থ সূচীমুখ ঋণাত্মক তড়িৎ পায় এবং মুক্ত ধনাত্মক তড়িৎ মাটিতে চলিয়া যায়। সূচীমুখের ক্ষরণ-ক্রিয়ার জন্য উহার ঋণাত্মক আধান বেল্টে ক্ষরিত হয় এবং বেল্ট ঐ আধান উর্ধ্বমুখী লইয়া যায়। এইরূপে বাহিত হইয়া যখন ঋণাত্মক আধান ফাঁপা গোলক B-এর মধ্যে প্রবেশ করে তখন উহা গোলকের গায়ে আবদ্ধ আর একটি সূচীমুখ G-এর সম্মুখীন হয়। পুনরায় আবেশের দরুন সূচীমুখ ধনাত্মক তড়িৎ পায় এবং গোলক B ঋণাত্মক তড়িৎ পায়। G-এর ধনাত্মক আধান বেল্টের ঋণাত্মক আধান কর্তৃক শীঘ্রই প্রশমিত হয়। ফলে, গোলক B ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হয়। একইভাবে, বামদিকের বেল্টের C সূচীমুখ উহার সম্মুখস্থ ক্ষুদ্র গোলক হইতে আবেশের জন্য ধনাত্মক আধান পাইয়া উহা বেল্টে ক্ষরিত করে এবং বেল্ট ঐ ধনাত্মক তড়িৎ A গোলককে জমা দেয়। এইভাবে বৈদ্যুতিক মোটরের দ্বারা বেল্টকে ক্রমাগত ঘুরাইলে A এবং B গোলকে ক্রমাগত ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আধান জমা হইতে থাকিবে এবং উহাদের বিভব-পার্থক্যও বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। গোলকদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য বৃদ্ধি পাইবার সঙ্গে সঙ্গে বায়ুতে তড়িৎমোক্ষণ হইবার সম্ভাবনা থাকে ; কারণ স্বাভাবিক চাপে বায়ু খুব বেশী তড়িৎ-চাপ সহ্য করিতে পারে না। তড়িৎমোক্ষণ নিবারণের জন্য সমগ্র যন্ত্রকে বৃহৎ ধাতব প্রকোষ্ঠে আবদ্ধ রাখিয়া প্রকোষ্ঠকে উচ্চ চাপের বায়ু দ্বারা পূর্ণ করা হয়।

বলা বাহুল্য, এই যন্ত্রটি উদ্ভাবনের পর আজ পর্যন্ত ইহার অনেক পরিবর্তন ও পরিবর্ধন হইয়াছে। ওয়াশিংটন সহরের কার্ণেগী ইনস্টিট্যুটে এবং উইসকনসিন বিশ্ববিদ্যালয়ে অতি আধুনিক ও বিরাটকায় ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটার যন্ত্র আছে। উহা দ্বারা প্রায় 50 লক্ষ ভোল্ট বিভব-প্রভেদ উৎপন্ন করা যায়।

Exercises

1. একটি ইলেকট্রোফোরাসের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। ইহার অন্তরক চাকতির (উৎপাদক) তড়িতাধানের বিশেষ কোন অপচয় না হইয়া উহা কিরূপে যে কোন পরিমাণ তড়িতাধান সরবরাহ করিতে পারে—তাহা ব্যাখ্যা কর।

2. একটি ইলেকট্রোফোরাস যন্ত্র বর্ণনা কর। ইহা কি কাজে লাগে? ইহার সংগ্রাহকের বিভব কিরূপে পরিবর্তিত হয়?

3. ইলেকট্রোফোরাস যন্ত্র হইতে কিরূপে তড়িতাধান পাওয়া যায় তাহা ব্যাখ্যা কর। এই যন্ত্রে আসনের কি কাজ?

4. একটি ভ্যান-ডি-গ্রাফ যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

প্রবাহী তড়িৎ-বিজ্ঞান

[CURRENT ELECTRICITY]

প্রথম পরিচ্ছেদ

তড়িৎপ্রবাহ ও তড়িৎকোষ

(Electric current and Electric cells)

সূচনা ঃ

আধুনিক যুগকে 'তড়িতের যুগ' বলা যায় ; কারণ, এই যুগে জীবনযাত্রার প্রতি পদক্ষেপে আমরা তড়িতের সাহায্য গ্রহণ করিয়া থাকি। আমাদের বাড়ি-ঘর, কলকারখানা আলোকিত করে তড়িৎপ্রবাহ ; সংবাদ আদান-প্রদানের জন্য টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, রেডিও প্রভৃতি চালু রাখে তড়িৎ-প্রবাহ ; আমোদ-প্রমোদের জন্য থিয়েটার, সিনেমা, টেলিভিশন ইত্যাদি তড়িৎপ্রবাহের নিকট ঋণী ; চলাচলের জন্য বৈদ্যুতিক ট্রেন, ট্রাম ইত্যাদি তড়িৎ-প্রবাহের উপর নির্ভরশীল ; বিভিন্ন ফ্যাক্টরী কারখানায় নানাপ্রকার যন্ত্রপাতি চালু রাখে তড়িৎপ্রবাহ। এই রকম অসংখ্য প্রয়োজনীয় কাজ সম্পাদন করিয়া এবং জীবনের আরাম ও সুখ-সুবিধার নানারকম উপকরণ চালু রাখিয়া তড়িৎ-প্রবাহ আজ মানুষের দৈনন্দিন জীবনের সঙ্গে ওতপ্রোতভাবে মিশিয়া গিয়াছে। তাই, প্রবাহী তড়িৎ-বিজ্ঞান সম্বন্ধে কৌতূহল আজ সর্বসাধারণের।

1.1 **তড়িৎ-প্রবাহ** (Electric current) ঃ স্থির তড়িৎবিজ্ঞানে 'তড়িৎ-বিভব' আলোচনা প্রসঙ্গে বলা হইয়াছে যে, দুইটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর ভিতর সংযোগ স্থাপন করিলে সর্বদা উচ্চবিভব-বিশিষ্ট বস্তু হইতে নিম্নবিভব-বিশিষ্ট বস্তুতে ধনাত্মক তড়িতের প্রবাহ হয় এবং যতক্ষণ পর্যন্ত দুই বস্তুর বিভব সমান না হইবে ততক্ষণ পর্যন্ত এই তড়িৎপ্রবাহ চলিবে। আবার, একটি তড়িৎবিহীন বস্তুর সহিত একটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর সংযোগ ঘটাইলে দেখা যাইবে, তড়িৎ-বিহীন বস্তু তড়িৎগ্রস্ত বস্তু হইতে তড়িৎ লইতেছে, যেমন একটি জলশূন্য পাত্র ও একটি জলপূর্ণ পাত্রের (একই তলে রাখিয়া) সংযোগ ঘটাইলে সর্বদা জল দ্বিতীয় পাত্র হইতে প্রথম পাত্রে প্রবাহিত হয়। সুতরাং একথা মনে রাখিতে হইবে, দুই স্থানের তলের পার্থক্য থাকিলে যেমন একটি **উদস্থৈতিক চাপের** (hydrostatic pressure) উদ্ভব হয় যাহার ফলে তরল উঁচু হইতে নীচুতে প্রবাহিত হয় তেমনি দুইটি বস্তুর 'বিভব-প্রভেদ' (potential difference) থাকিলে একটি **তড়িৎ-চাপের** (electric pressure) সৃষ্টি হয় যাহার ফলে ধনাত্মক তড়িৎ উচ্চ-বিভবযুক্ত বস্তু হইতে নিম্নবিভবযুক্ত বস্তুতে প্রবাহিত হয়।

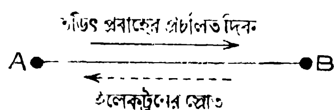
তড়িতাধানের এই প্রবাহকে তড়িৎ-প্রবাহ বলে। এই প্রবাহ যদি সর্বদা একই দিকে হয় তবে তাহাকে **সমপ্রবাহ** (Direct current বা D.C.) বলে। আর যদি প্রবাহের অভিমুখ একটি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে এদিক-ওদিক পরিবর্তিত হয় তবে তাহাকে **পরিবর্তী প্রবাহ** (Alternating current বা A.C.) বলে।

সাধারণভাবে দুইটি বিভিন্ন বিভবযুক্ত তড়িৎগ্রস্ত বস্তুকে তার দিয়া সংযোগ করিলে যে তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায় তাহা ক্ষণস্থায়ী ; কারণ, মুহূর্তের মধ্যেই বস্তু দুইটির বিভব সমান হইয়া প্রবাহ

বন্ধ হইয়া যায়। সুতরাং এই প্রবাহকে স্থায়ী করিতে গেলে বস্তু দুইটির বিভব-প্রভেদকেও স্থায়ী করা প্রয়োজন। এ-সম্বন্ধে পরে আলোচনা করা হইয়াছে।

1.2. **তড়িৎ-প্রবাহের দিক্-নির্দেশের প্রচলিত নিয়ম** (Conventional direction of electric current) : কোন পরিবাহী দিয়া তড়িতাধানের প্রবাহ হইলে তাহাকে তড়িত-প্রবাহ বলা হইয়াছে। কিন্তু প্রবাহ ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় প্রকার আধানেরই হইতে পারে সুতরাং প্রশ্ন হইবে, কোন্ প্রকার আধানের প্রবাহ হইলে তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হইবে?

এই সম্বন্ধে প্রচলিত নিয়ম হইতেছে, পরিবাহী দিয়া ধনাত্মক আধানের প্রবাহ হইলে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। ধরা যাউক A এবং B দুইটি বিন্দু। A বিন্দুর বিভব B বিন্দু হইতে উচ্চতর। এখন বিন্দু দুইটিকে কোন পরিবাহী দ্বারা সংযোগ করিলে পরিবাহী দিয়া A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে **ধনাত্মক** আধান প্রবাহিত হইবে (1.1 নং চিত্র)। ইহাই তড়িৎ-প্রবাহের দিক্-নির্দেশের প্রচলিত নিয়ম। এই পুস্তকে সর্বদাই এই নিয়ম অনুসরণ করা হইয়াছে।



চিত্র 1·1

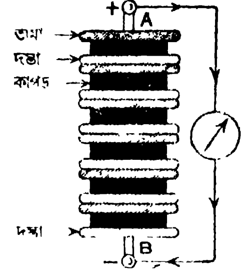
আধুনিক ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুযায়ী তড়িৎপ্রবাহের দিক্-নির্দেশের নিয়ম অন্য রকম। ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুসারে প্রত্যেক পরিবাহীতে কিছু মুক্ত (free) ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত ইলেকট্রন বর্তমান। যখন পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব অসম হয় তখন নিম্নবিভব প্রান্ত হইতে উচ্চবিভব প্রান্তে ইলেকট্রনগুলির প্রবাহ ঘটে। এই প্রবাহের ফলেই তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। সুতরাং এই দিক্-নির্দেশ পূর্ববর্ণিত প্রচলিত দিক্-নির্দেশের বিপরীত।

1.3 **তড়িৎকোষ আবিষ্কারের গোড়ার কথা :** তড়িৎকোষ প্রথম উদ্ভাবন করেন ইতালীর বিজ্ঞানী ভোল্টা। কিন্তু ইহার জন্য দায়ী গ্যাল্ভানির বিখ্যাত ব্যাঙের পরীক্ষা ও ভোল্টা কর্তৃক ইহার ব্যাখ্যা এবং এই ব্যাখ্যানুসারে ভোল্টার স্তূপ (Volta's pile) নির্মাণ।

1786 খ্রীষ্টাব্দে ইতালীর অন্তর্গত বোলোনা বিশ্ববিদ্যালয়ের বিখ্যাত শারীরবিদ্ লুইগি গ্যাল্ভানি কাটা ব্যাঙ লইয়া নানা রকম পরীক্ষা করিতেছিলেন। একদিন লবণজলে সিক্ত কতকগুলি সদ্যকাটা ব্যাঙের পা পিতলের হুক হইতে ঝুলিতেছিল। গ্যাল্ভানি লক্ষ্য করিলেন, যতবার বায়ু কর্তৃক আন্দোলিত হইয়া ব্যাঙের পা লোহার রেলিং স্পর্শ করিতেছিল, ততবারই মাংসপেশী হঠাৎ সঙ্কুচিত হইয়া পা ছিটকাইয়া আসিতেছিল। ইহার পূর্বে মৃত ব্যাঙের শরীরে তড়িৎযন্ত্র হইতে তড়িৎ পাঠাইয়া ঐরূপ স্পন্দন গ্যাল্ভানি লক্ষ্য করিয়াছিলেন। ইহা হইতে তাঁহার ধারণা জন্মে, ব্যাঙের শরীরে স্বতঃই তড়িৎ বর্তমান।

কিন্তু গ্যাল্ভানির এই ধারণা সম্বন্ধে সন্দেহ প্রকাশ করেন অধ্যাপক আলোসান্দ্রো ভোল্টা। তিনি বলেন, ব্যাঙের শরীরে তড়িৎ নাই। তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হইয়াছে পিতল ও লোহা, এই দুইটি বিভিন্ন ধাতুর সংস্পর্শের জন্য। ব্যাঙের দেহ তড়িৎ পরিবাহী। সুতরাং যখনই বিভিন্ন ধাতু ব্যাঙের শরীরের মাধ্যমে সংযোজিত হইতেছে তখনই তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হইতেছে।

তিনি অতঃপর 1800 খ্রীষ্টাব্দে তাঁহার বিখ্যাত স্তূপ (pile) তৈয়ারী করিয়া তাঁহার মতবাদকে প্রতিষ্ঠিত করিবার চেষ্টা করিলেন। একটি তামার পাত এবং একটি দস্তার পাতের মাঝখানে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে সিক্ত একটুকরা কাপড় রাখা আছে এবং এইরূপ কয়েকজোড়া পাতকে পরপর রাখিয়া স্তূপ তৈরী করা হইয়াছে। সর্বপ্রথম তামার পাত ও সর্বশেষ দস্তার পাতকে কোন পরিবাহী তার দিয়া যোগ করিলে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয় (1.2 নং চিত্র)।



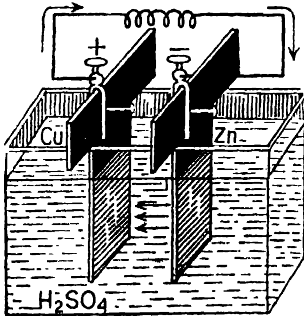
চিত্র 1·2

ভোল্টার মতবাদ অনুযায়ী দুইটি বিভিন্ন ধাতুকে স্পর্শ করাইলেই বিভব-প্রভেদের সৃষ্টি হয় এবং তাহার ফলে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। কিন্তু উপরোক্ত পরীক্ষা সম্পর্কে ভোল্টার এই মতবাদে কিছু ত্রুটি আছে। ভোল্টার স্তূপ পরীক্ষা করিয়া দেখা যায়, দস্তা ও সালফিউরিক অ্যাসিডের সংস্পর্শে কিছু রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয়। এই ঘটনা লক্ষ্য করিয়া ডেভী, ডি লা রিভ, ফেবরনী প্রভৃতি বিজ্ঞানীরা স্থির করেন, তড়িৎপ্রবাহের মূল কারণ দুইটি বিভিন্ন ধাতুর সংযোগ নয়—মূল কারণ হইতেছে রাসায়নিক ক্রিয়া। এইভাবে নানা ঘটনার ভিতর দিয়া বিজ্ঞানীরা তড়িৎ-কোষের মূলকথা উপলব্ধি করিতে পারিলেন।

1.4 **সরল ভোল্টীয় কোষ** (Simple Voltaic cell) ঃ ভোল্টার স্তূপ হইতে প্রমাণিত হয়, তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টির জন্য রাসায়নিক শক্তির প্রয়োজন।

সংজ্ঞা ঃ যে ব্যবস্থা দ্বারা রাসায়নিক শক্তির বদলে স্থায়ী তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি করা যায় তাহাকে তড়িৎকোষ বলে। ভোল্টা সর্বপ্রথম এই ধরনের কোষ নির্মাণ করেন বলিয়া তাহাকে ভোল্টীয় কোষ বলে।

বিবরণ ঃ 1.3 নং চিত্রে এই তড়িৎকোষের ছবি দেখানো হইল। একটি কাচের পাত্রে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড রাখিয়া উহার ভিতর একটি দস্তার পাত (Zn) ও একটি তামার পাত (Cu) ডুবানো আছে। পাত দুইটির সহিত বন্ধনী (terminal) লাগানো থাকে। একটি তামার তার বন্ধনী দুইটির সহিত লাগাইলে পাত দুইটির ভিতর সংযোগ স্থাপিত হইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে দস্তা এবং অ্যাসিডের ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া সুরু হইবে এবং তামার পাত বাহিয়া হাইড্রোজেন গ্যাসের বুদ্বুদ উঠিবে। ইহা ছাড়া তার বাহিয়া তামার পাত হইতে দস্তার পাতের দিকে তড়িৎ-প্রবাহেরও সৃষ্টি হইবে।



চিত্র 1·3

যদি বন্ধনী হইতে তার খুলিয়া ফেলা যায় তবে কোন তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যাইবে না। কিন্তু তামা ও দস্তার পাতের ভিতর বিভব-পার্থক্য থাকিয়া যাইবে। তামার পাতকে উচ্চ অথবা ধনাত্মক বিভব

ও দস্তার পাতকে নিম্ন অথবা ঋণাত্মক বিভবসম্পন্ন পাত বলা হয়। ইহাদের যথাক্রমে ধনাত্মক মেরু (positive pole) ও ঋণাত্মক মেরু (negative pole)-ও বলা হয়। যখন বন্ধনীদ্বয় তামার তার দিয়া যোগ করা হয় তখন তার বাহিয়া তামার পাত হইতে দস্তার পাতে তড়িৎপ্রবাহের ফলে পাত দুইটির বিভব-প্রভেদ ক্রমশ লোপ পাইতে চেষ্টা করে। এই প্রভেদ বজায় রাখিবার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির সৃষ্টি হয় দস্তা ও সালফিউরিক অ্যাসিডের ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া দ্বারা। নিম্নে এই ক্রিয়ার ব্যাখ্যা করা হইল।

ভোল্টীয় কোষের ক্রিয়ার ব্যাখ্যা ঃ ভোল্টীয় কোষের ক্রিয়া সম্বন্ধে জ্ঞানলাভ করিতে হইলে **আয়ন** (ion) ও **আয়ন বিশ্লেষণ** (ionic dissociation) সম্বন্ধে কিছু জানা দরকার।

আমরা জানি, পদার্থের অণু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র পরমাণু দ্বারা গঠিত। পরমাণুর ভিতর আবার ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ইলেকট্রন আছে। কোন প্রকারে অণু বা পরমাণু হইতে এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্যুত হইলে অণু বা পরমাণু তড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়ে। ইলেকট্রন ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত। এই কারণে, পরমাণু হইতে ইলেকট্রন সংখ্যা কমিয়া গেলে পরমাণুটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হয় এবং বিচ্যুত ইলেকট্রন যদি অপর কোন নিস্তড়িত পরমাণুর সহিত যুক্ত হয় তবে উক্ত পরমাণুটি ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত হয়। এই ধরণের **তড়িৎগ্রস্ত অণু বা পরমাণুকে আয়ন** (ion) বলে ও এই প্রক্রিয়াকে **আয়নীভবন** (inoisation) বলা হয়। পরমাণুর রাসায়নিক সাংকেতিক অক্ষরের উপর '+' অথবা '−' চিহ্ন দিয়া আয়ন বুঝানো হয়। এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্যুত হইলে ঐ পরমাণুর সাংকেতিক অক্ষরের উপর ঐ সংখ্যার (+) চিহ্ন এবং ইলেকট্রন যুক্ত হইলে (−) চিহ্ন দেওয়া হয়। যেমন, হাইড্রোজেন পরমাণুর একটি ইলেকট্রন বিচ্যুত হইলে তাহাকে H^+ প্রতীক দিয়া বুঝানো হয়।

দেখা গিয়াছে, কোন যৌগ-কে কোন দ্রাবকে (solvent) দ্রবীভূত করিলে উক্ত যৌগের অণুগুলি আয়নে বিভক্ত হইয়া যায় এবং ঐ আয়নগুলি দ্রবণে (solution) থাকিয়া যায়। যেমন, সাধারণ লবণ (NaCl) জলে দ্রবীভূত করিলে প্রত্যেকটি NaCl অণু বিভক্ত হইয়া Na এবং Cl-এ পরিণত হয় এবং ইহারা তড়িৎগ্রস্ত হয়। Na^+ ধনাত্মক আয়ন ও Cl^- ঋণাত্মক আয়নে বিশ্লিষ্ট হইয়া এলোমেলোভাবে জলেই থাকিয়া যায়। এই প্রক্রিয়াকে আয়ন-বিশ্লেষণ বলা হয়।

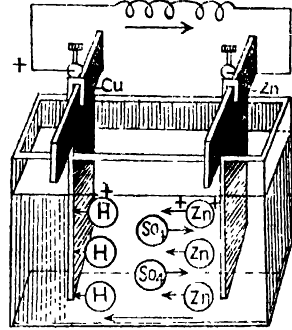
এইবার ভোল্টীয় কোষের ক্রিয়ার কথায় আসা যাউক। যখন H_2SO_4 লঘু করিবার জন্য উহা জলের সহিত মিশানো হয় তখন আয়ন বিশ্লেষণের ফলে অ্যাসিডের প্রত্যেকটি অণু দুইটি ধনাত্মক H^+ ও একটি ঋণাত্মক SO_4^{--} আয়নে বিভক্ত হইয়া পড়ে। অর্থাৎ,

$$H_2SO_4 \rightarrow (H^+ + H^+) + SO_4^{--}$$

এই আয়নগুলি দ্রবণে এলোমেলোভাবে ঘোরাফেরা করে।

এখন দস্তার পাত অ্যাসিডে ডুবাইলে ঐ পাত হইতে ধনাত্মক দস্তার আয়ন (Zn^{++}) অ্যাসিডে মিশিয়া যায় এবং ঋণাত্মক (SO_4^{--}) আয়নকে আকর্ষণ করিয়া নিস্তড়িৎ

সাধারণ $ZnSO_4$ অণু তৈয়ারী করে ($Zn^{++} + SO_4^{--} = ZnSO_4$)। এই $ZnSO_4$-এর সাদা গুঁড়া কাচপাত্রের তলায় পড়িয়া থাকে। দস্তার পাত হইতে ধনাত্মক দস্তার আয়ন চলিয়া যাওয়াতে পাতে ইলেকট্রনের আধিক্য হয় এবং পাতটি ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়ে (1.4 নং চিত্র)। এই কারণে দস্তাকে সরল ভোল্টীয় কোষের জ্বালানী (fuel) হিসাবে উল্লেখ করা যাইতে পারে।



চিত্র 1·4

ধনাত্মক দস্তার আয়ন দ্রবণে মিশিবার ফলে উক্ত পাতের কাছাকাছি দ্রবণ ধনাত্মক তড়িৎ পায় এবং ঐ স্থানে অবস্থিত সমতড়িৎসম্পন্ন ধনাত্মক H^+ আয়ন বিকর্ষিত হইয়া বিপরীত দিকে তামার পাতের অভিমুখে ধাবিত হয়। H^+ আয়নগুলি পাতে পৌঁছিয়া প্রত্যেক তামার পাত হইতে একটি করিয়া ইলেকট্রন আকর্ষণ করে এবং নিস্তড়িৎ H_2 অণুরূপে বুদ্বুদ্ সৃষ্টি করিয়া গ্যাসের আকারে বাহির হইয়া যায়। তামার পাতে ইলেকট্রনের ঘাটতি পড়ায় ঐ পাত ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হয় এবং দস্তার ইলেকট্রনগুলি আকর্ষণ করে। ইলেকট্রনগুলি তামার তার বাহিয়া তামার পাতে উপস্থিত হয় এবং প্রবাহের সৃষ্টি করে।

সুতরাং দেখা গেল **রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে তামার পাত ধনাত্মক তড়িৎ তথা ধনাত্মক বিভব ও দস্তার পাত ঋণাত্মক বিভব প্রাপ্ত হয়।** যখন পাত দুইটি তার দিয়া যোগ করা না হয় তখনকার বিভবপ্রভেদকে কোষের **তড়িচ্চালক বল** (electromotive force বা e.m.f.) বলা হয়। এই বলই তড়িৎপ্রবাহের জন্য মূলত দায়ী। তড়িচ্চালক বলকে প্রকাশ করিবার জন্য 'ভোল্ট' একক ব্যবহার করা হয়। সরল ভোল্টীয় কোষের e.m.f. 1.08 ভোল্ট। যখন পাত দুইটি তার দিয়া যোগ করা হয় তখন তড়িৎ-প্রবাহের ফলে পাত দুইটির বিভব-প্রভেদ লোপ পাইতে চেষ্টা করে কিন্তু কোষের ভিতরে আরো রাসায়নিক ক্রিয়া হইয়া এই বিভব-প্রভেদকে বজায় রাখে। ফলে তার দিয়া স্থায়ী তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়।

একটি লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে, কোষের বাহিরে তার দিয়া যেমন তড়িৎ-প্রবাহ হয় কোষের ভিতরে তরলের মধ্য দিয়াও তড়িৎ প্রবাহ হয়। কোষের বাহিরের প্রবাহ তামা হইতে দস্তার অভিমুখে হয় (প্রচলিত দিক্-নির্দেশ অনুযায়ী) কিন্তু ভিতরের প্রবাহ দস্তা হইতে তামার অভিমুখে হয় (1.4 নং চিত্র)।

যে-কোন পরিবাহী বস্তুর ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ হইলে প্রবাহ একটি বাধার সম্মুখীন হয়। এই বাধাকে পরিবাহীর 'রোধ' (resistance) বলে। যখন তড়িৎ-কোষের তরলের ভিতর দিয়া প্রবাহ ঘটে, তখনও প্রবাহ ঐরূপ রোধ অনুভব করে। ইহাকে তড়িৎ-কোষের 'আভ্যন্তরীণ রোধ' (internal resistance) বলা হয়। তড়িৎ কোষের বাহিরে প্রবাহ যে-বাধা

পাইবে তাহাকে 'বহিঃরোধ' (external resistance) বলা হয়। 'রোধ' সম্বন্ধে পরে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

1.5 **সরল ভোল্টীয় কোষের ত্রুটি** (Defects of simple voltaic cell) :

পূর্ব বর্ণিত সরল তড়িৎকোষের প্রধানত দুইটি ত্রুটি আছে। ইহারা যথাক্রমে (1) **স্থানীয় ক্রিয়া** (local action) ও (2) **ছদন** (polarisation)। এই ত্রুটির জন্য তড়িৎ-প্রবাহ বাধা প্রাপ্ত হয় এবং অবশেষে সম্পূর্ণরূপে বন্ধ হইয়া যায়। নিম্নে ইহাদের বিবরণ ও প্রতিকারের উপায় বর্ণিত হইল ঃ—

(1) **স্থানীয় ক্রিয়া ঃ** সাধারণত বাজারে যে দস্তার পাত পাওয়া যায় তাহা বিশুদ্ধ নয়। তাহাতে নানারকম ধাতব পদার্থ (যথা—লোহা, কার্বন, সীসা, আর্সেনিক ইত্যাদি) খাদ হিসাবে উপস্থিত থাকে। ঐরূপ কোন দস্তার পাত সালফিউরিক অ্যাসিডে ডুবাইলে দস্তা, অ্যাসিড ও খাদ মিলিয়া ছোট ছোট স্থানীয় কোষ তৈয়ারী করে। কারণ, দুইটি ভিন্ন ধাতু অ্যাসিডের সংস্পর্শে আসিলেই তড়িৎকোষের সৃষ্টি হয়। এই স্থানীয় তড়িৎ-কোষগুলির সৃষ্টির ফলে যে তড়িৎ-প্রবাহের উৎপত্তি হয় তাহা মূল প্রবাহের সহিত যুক্ত হয় না। মূল কোষের পাত দুইটি তার দিয়া যুক্ত থাকুক বা না-থাকুক এই প্রবাহ সর্বদা চালু থাকে। ফলে অনাবশ্যক দস্তার পাত ক্ষয় হইয়া যায় এবং কোষের ভিতরে অবাঞ্ছিত তাপের সৃষ্টি হয়। ইহাতে কোষটি অচিরে অকেজো হইয়া পড়ে।

প্রতিকারের উপায় ঃ স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ করিবার জন্য বাজারে প্রাপ্ত সাধারণ দস্তার পাত ব্যবহার না করিয়া বিশুদ্ধ দস্তার পাত ব্যবহার করা যাইতে পারে। কিন্তু ইহাতে দুইটি অসুবিধা আছে। প্রথমত বিশুদ্ধ দস্তা এবং লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের ভিতর বিশেষ কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না। দ্বিতীয়ত, বিশুদ্ধ দস্তা খুব দামী। তাই, সরল ভোল্টীয় কোষ নির্মাণে সাধারণ দস্তাই ব্যবহৃত হয়।

সাধারণ দস্তার পাতে পারদের প্রলেপ লাগাইলে স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ হয়। ইহার কারণ, পারদে দস্তা দ্রবীভূত হইয়া একটি দস্তার পারদসংকর (zinc amalgam) গঠন করে এবং পাতের চতুর্দিকে ইহার একটি প্রলেপ পড়ে। ইহার ফলে দস্তা অ্যাসিডের সহিত সাক্ষাত সংস্পর্শে আসিতে পারে ও মূল কোষের কার্য অব্যাহত রাখে। কিন্তু খাদগুলি পারদে দ্রবীভূত হয় না বলিয়া, প্রলেপের দ্বারা আবৃত থাকে এবং অ্যাসিডের সহিত সংস্পর্শে আসিতে পারে না। তাছাড়া, পারদের সহিত অ্যাসিডের কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না। সুতরাং স্থানীয় ক্রিয়া হইবার কোন সুযোগ থাকে না। রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে দস্তা ক্রমশ ক্ষয়প্রাপ্ত হইলে খাদগুলি আলগা হইয়া যায় এবং কাচপাত্রের তলায় জমা হয়।

(2) **ছদন ঃ** সরল ভোল্টীয় কোষের পাত দুইটি তামার তার দিয়া যোগ করিয়া কিছুক্ষণ রাখিয়া দিলে দেখা যাইবে, আস্তে আস্তে তড়িৎপ্রবাহ কমিয়া আসিতেছে এবং অবশেষে সম্পূর্ণরূপে বন্ধ হইয়া গিয়াছে।

পরীক্ষা ঃ একটি সরল ভোল্টীয় কোষের দুই পাতের সংগে একটি বৈদ্যুতিক ঘণ্টা যোগ কর। দেখিবে ঘণ্টা কিছুক্ষণ বাজিবার পর শব্দ ক্ষীণ হইতে সুরু করিয়াছে এবং পরে একেবারে

থামিয়া গিয়াছে। এইবার কোষের তামার পাত বাহির করিয়া ব্রাশ দিয়া পরিষ্কার করিয়া অ্যাসিডে স্থাপন করিলে পুনরায় ঘন্টা বাজিবে। কোষের তড়িৎ-প্রবাহের এইরূপ হ্রাস পাইবার কারণ হইতেছে ছদন। তড়িৎ-কোষের ছদন নিম্নরূপে হইয়া থাকে।

তড়িৎ-কোষের ক্রিয়া বর্ণনার সময় বলা হইয়াছে, ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত H^+ আয়ন তামার পাতের দিকে অগ্রসর হয় এবং পাতে পৌঁছিয়া ইলেকট্রনের সহিত যুক্ত হইয়া গ্যাসের আকারে বাহির হইয়া যায়। কিন্তু যে হারে আয়নের আগমন হয় তাহা গ্যাসের নির্গমন হারের চাইতে বেশী হওয়ায় সব আয়নগুলি বাহিরে যাইতে পারে না। কিছু কিছু আয়ন ইলেকট্রন সংগ্রহ করিয়া নিস্তড়িৎ H_2 অণুরূপে তামার পাতে আটকাইয়া থাকে। সুতরাং কিছুক্ষণ কাজ হইবার পর তামার পাতের উপর একটি নিস্তড়িৎ গ্যাসের স্তর জমিয়া যায়। তখন নবাগত H^+ আয়ন আর তামার পাতে পৌঁছিতে পারে না। তাহার ফলে কোষ-প্রদত্ত তড়িৎপ্রবাহ ক্ষীণ হইতে সুরু করে। কিছুক্ষণ পরে ঐ নিস্তড়িৎ গ্যাস স্তরের উপর H^+ আয়নগুলি জমা হইতে থাকে। তাহার ফলে নতুন H^+ আয়নগুলি তামার পাতের কাছে আসিলেই সমতড়িৎ কর্তৃক বিকর্ষিত হইয়া দস্তার পাতের দিকে ধাবিত হয়। তখন দ্রবণের ভিতর উল্টাদিকে একটি তড়িচ্চালক বল কাজ করিতে সুরু করে। ইহাকে **বিপরীত তড়িচ্চালক বল** (back electromotive force) বলা হয়। ঐ অবস্থায় তড়িৎকোষ সম্পূর্ণরূপে ছদনগ্রস্ত হইয়াছে বলা হয়, কারণ, ঐ কোষ হইতে তখন আর তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায় না।

প্রতিকারের উপায়ঃ ছদন নিবারণের কয়েকটি পদ্ধতি আছে। যথা—

(ক) **যান্ত্রিক পদ্ধতি** (Mechanical means): মাঝে মাঝে কোষ হইতে তামার পাত বাহির করিয়া ব্রাশ দিয়া হাইড্রোজেন গ্যাসের বুদবুদগুলিকে পরিষ্কার করিয়া আবার কোষে স্থাপন করিলে পুনরায় তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। ইহাকে যান্ত্রিক পদ্ধতি বলা হয়। অমসৃণ তামার পাত ব্যবহার করিলেও বুদবুদ জমিবার সুবিধা হয় না। কিন্তু এই পদ্ধতি খুব সুবিধাজনক নহে।

(খ) **রাসায়নিক পদ্ধতি** (Chemical means): এই পদ্ধতিতে কোষের ভিতর এমন একটি রাসায়নিক বস্তু ব্যবহার করা হয় যাহা হাইড্রোজেনকে জলে পরিণত করিয়া দেয়। সুতরাং তামার পাতে হাইড্রোজেন গ্যাস জমিতে পারে না এবং ছদনও হইতে পারে না। এই ধরনের রাসায়নিক পদার্থকে **ছদন-নিবারক** (depolariser) বলা হয়। লেকল্যান্স কোষে ছদন-নিবারক হিসাবে MnO_2 ব্যবহার করা হয় (লেকল্যান্স কোষ দ্রষ্টব্য)।

(গ) **তড়িৎ-রাসায়নিক পদ্ধতি** (Electro-chemical means): এই পদ্ধতিতে এমন দুইটি তরল ব্যবহার করা হয় যে প্রথম তরল কর্তৃক উৎপন্ন হাইড্রোজেন অণু দ্বিতীয় তরলের সংস্পর্শে আসিলে কোষের ধনাত্মক পাত যে-ধাতুর তৈরী সেই ধাতুর অণু সৃষ্টি করে অথবা হাইড্রোজেন ছাড়া অন্য কোন গ্যাস উৎপন্ন করে। হাইড্রোজেন উৎপন্ন না হওয়ায় ছদনক্রিয়াও হইতে পারে না। ড্যানিয়েল কোষে কপার সালফেট ($CuSO_4$) জলে দ্রবীভূত করিয়া ঐ দ্রবণকে ছদন-নিবারক হিসাবে ব্যবহার করা হয় (ড্যানিয়েল কোষ দ্রষ্টব্য)।

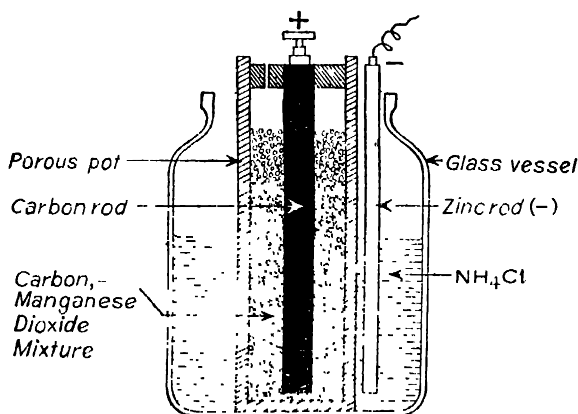
1·6 **মৌল কোষের বিভাগ** (Types of primary cells) ঃ যে-কোষে বিভিন্ন বস্তুর রাসায়নিক ক্রিয়ার সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করা হয় তাহাকে **মৌল কোষ** বলে। এই কোষে সাধারণত তিনটি জিনিস থাকে ঃ (1) ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মেরু (pole) অথবা দ্বার (electrode), (2) বিভব-প্রভেদ-সৃষ্টিকারী সক্রিয় তরল (active liquid) ও (3) ছদন নিবারক কোন বস্তু।

মৌল কোষগুলিকে প্রধানত দুইভাগে ভাগ করা যায় ; যথা—(1) **এক তরল** (single fluid) ও (2) **দুই তরল** (double fluid) কোষ।

1·7 **বিভিন্ন এক তরল কোষ ঃ**

(ক) **লেক্ল্যান্স কোষ** (Leclanches' cell) ঃ

বিবরণ ঃ আনুমানিক 1865 খ্রীষ্টাব্দে জর্জেস লেক্ল্যান্স এই কোষ উদ্ভাবন করেন। 1·5 নং চিত্রে লেক্ল্যান্স কোষের নক্শা দেখানো হইল। একটি কাচপাত্রের ভিতর জলে দ্রবীভূত নিশাদল বা অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড (NH_4Cl) রাখা হয় এবং তাহার ভিতর পারদের প্রলেপ যুক্ত একটি দস্তার দণ্ড আংশিক ডুবানো থাকে। কাচপাত্রের মাঝখানে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড



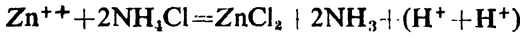
চিত্র 1·5

দ্রবণের ভিতর একটি সচ্ছিদ্র পাত্র রাখা আছে। ঐ পাত্র ম্যাংগানিজ ডাই-অক্সাইড (MnO_2) ও কাঠকয়লার গুঁড়া (কার্বন) দিয়া ভরতি এবং ইহার ভিতর একটি গ্যাস কার্বনদণ্ড ঢুকানো। গ্যাস বাহির হইয়া যাইবার জন্য সচ্ছিদ্র পাত্রের উপরের মুখে একটি সরু নালীপথ (vent) খোলা থাকে। এই কোষে দস্তার দণ্ড নিম্নবিভব অর্থাৎ, ঋণাত্মক মেরু (−) ও কার্বন দণ্ড উচ্চবিভব অর্থাৎ ধনাত্মক মেরু (+) গঠন করে। অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ কোষের সক্রিয় তরল ও ম্যাংগানিজ ডাই-অক্সাইড ছদন-নিবারক। এই কোষের তড়িচ্চালক বল প্রায় 1·5 ভোল্ট।

কাচপাত্রের অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড বাষ্পীভূত হইবার ফলে ছোট ছোট দানা গঠিত হয়

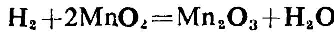
এবং এই দানাগুলি পাত্রের গা-বরাবর আটকাইয়া থাকে। ইহা নিবারণের জন্য পাত্রের উপরের দিকে কিছু অংশ বিশেষ একপ্রকার কালো রংয়ের প্রলেপ দ্বারা আবৃত থাকে। দানাগুলি এই রংয়ের গায়ে আটকাইয়া থাকিতে পারে না।

কার্যপ্রণালী: দস্তা ও NH_4Cl রাসায়নিক ক্রিয়া করিয়া ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত H^+ আয়ন মুক্ত করে এবং দস্তা নিজে ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত হয়।



$$Zn^{++}+2NH_4Cl=ZnCl_2+2NH_3+(H^++H^+)$$

মুক্ত অ্যামোনিয়া গ্যাস (NH_3) জলে দ্রবীভূত হয়। ঐ দ্রবণ যখন সংপৃক্ত হইয়া পড়ে তখন মুক্ত অ্যামোনিয়া গ্যাস উপরের নালীপথে বাহির হইয়া যায়। H^+ আয়নগুলি কার্বনদণ্ডের দিকে অগ্রসর হইবার জন্য সছিদ্র পাত্রে ঢুকিয়া পড়ে এবং নিজস্ব তড়িৎ কার্বনদণ্ডকে দিয়া নিস্তড়িৎ H_2 অণুতে পরিণত হয়। তখন MNO_2 ও H_2-এর ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া হইয়া H_2 জলে পরিণত হয়।



$$H_2+2MnO_2=Mn_2O_3+H_2O$$

সুতরাং হাইড্রোজেন গ্যাস কার্বনদণ্ডে জমিতে পারে না এবং ছদন ক্রিয়াও হইতে পারে না।

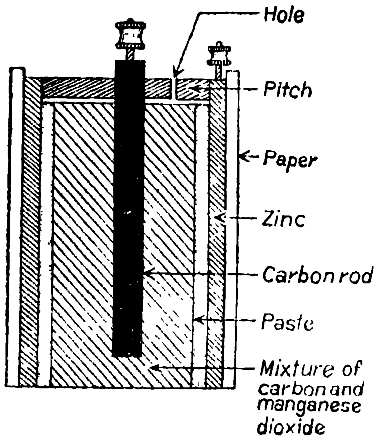
এই কোষের সর্বপ্রধান **অসুবিধা** হইল এই যে MnO_2 ও H_2-এর ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া এত আস্তে আস্তে হয় যে, H_2 গ্যাস আসামাত্র সংগে সংগে জলে পরিণত হয় না। কিছু H_2 গ্যাস থাকিয়া যায়। উহা কার্বন দণ্ডের উপর একটি নিস্তড়িৎ গ্যাসের প্রলেপ সৃষ্টি করে। তাই, যখন এই কোষ একটানা কিছুক্ষণ ধরিয়া তড়িৎপ্রবাহ দেয় তখন ছদনক্রিয়া সম্পূর্ণ নিবারিত হয় না। কিছুক্ষণ কোষকে বিশ্রাম দিলে সঞ্চিত হাইড্রোজেন MnO_2 কর্তৃক ধীরে ধীরে জলে পরিণত হয় এবং কোষ ছদনযুক্ত হইয়া আবার তড়িৎপ্রবাহ দিতে পারে। উপরোক্ত কারণের জন্য যেখানে বিরতিযুক্ত (intermittent) তড়িৎপ্রবাহ দরকার—যেমন, বৈদ্যুতিক ঘণ্টা, টেলিগ্রাফ, টেলিফোন ইত্যাদি সেইখানে এই কোষ বেশী ব্যবহৃত হয়। **একটানা অনেকক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ প্রয়োজন হইলে লেক্ল্যান্স কোষ কখনও ব্যবহৃত হয় না।**

এই কোষের সর্বপ্রধান **সুবিধা** হইল যে, ইহা সম্পূর্ণরূপে স্থানীয় ক্রিয়া হইতে মুক্ত। তাই, ইহার ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মেরু যোগ না করিয়া এমনি রাখিয়া দিলে কোনরূপ ক্ষতি হয় না। তাছাড়া মাঝে মাঝে জল ও অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দেওয়া ছাড়া এই কোষের আর কোন যত্ন লইবারও প্রয়োজন নাই।

(খ) **নির্জল কোষ** (Dry cell): ইহা লেক্ল্যান্স কোষেরই মত, শুধু লেক্ল্যান্স কোষের তরলের পরিবর্তে এখানে একটি লেই (paste) ব্যবহার করা হয়। এই কারণে ইহাকে নির্জল কোষ বলা হয়, যদিও ইহা প্রকৃতপক্ষে নির্জল নয়। টর্চলাইট, রেডিও, ট্রানজিস্টার প্রভৃতি যন্ত্রে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবার জন্য এই কোষের বহুল ব্যবহার দেখা যায়। 1·6 নং চিত্রে একটি নির্জল কোষের ছবি দেখানো হইল।

এই কোষে একটি দস্তার চোঙকে ধারক পাত্র ও কোষের ঋণাত্মক মেরু হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এই পাত্রের মধ্যস্থলে একটি কার্বনদণ্ড রক্ষিত। এই কার্বনদণ্ড কোষের ধনাত্মক মেরু।

কার্বনদণ্ডের চতুর্দিকে গুঁড়া কার্বন ও ম্যাংগানিজ ডাই-অক্সাইডের মিশ্রণ রাখা হয়। এই মিশ্রণ কাপড়ের থলিতে (calico bag) ভর্তি করিয়া রাখা হয়। থলি সছিদ্র পাত্রের কাজ করে। সমস্ত ব্যবস্থাটি একটি দস্তার চোঙের মধ্যে রাখিয়া থলি এবং চোঙের মধ্যবর্তী স্থান একটি লেই দ্বারা পূর্ণ করা হয়। এই লেই তৈরী করা হয় NH_4Cl দ্রবণ ও ময়দা দ্বারা। NH_4Cl এবং দস্তার ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া হইয়া ধনাত্মক হাইড্রোজেন আয়ন মুক্ত হয় এবং ঐ আয়নগুলি থলির ছিদ্র দিয়া কার্বন দণ্ডের দিকে অগ্রসর হয়। কোষের উপরিভাগ বালি, পিচ প্রভৃতি দ্বারা বন্ধ করা থাকে। গ্যাস বাহির হইবার জন্য পিচের মধ্যে একটি ছিদ্র থাকে। অতঃপর সমস্ত জিনিসটাকে কাগজে মুড়িয়া বাজারে বিক্রয়ের জন্য দেওয়া হয়।

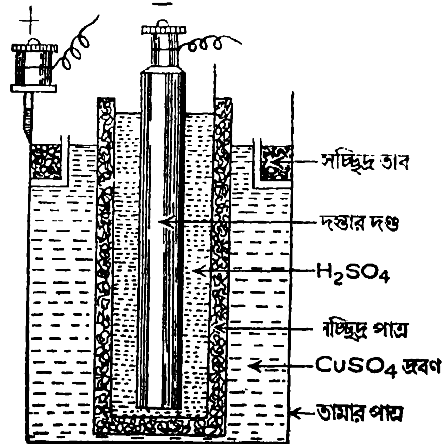


চিত্র 1·6

1.8 দুই তরল কোষঃ ড্যানিয়েল কোষ (Daniel cell)

বিবরণঃ লণ্ডনস্থ কিংস কলেজের রাসায়নের অধ্যাপক জন ড্যানিয়েল 1836 খ্রীষ্টাব্দে এই কোষ উদ্ভাবন করেন।

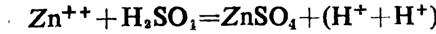
একটি তামার পাত্রে $CuSO_4$ (কপার সালফেট---তুঁতে) জলে দ্রবীভূত করিয়া রাখা হয় (1.7 নং চিত্র) এবং তামার পাত্রই কোষের ধনাত্মক মেরু হিসাবে ব্যবহৃত হয়। তামার পাত্রের উপরের দিকের দুইটি সছিদ্র তাকে (shelf) কিছু $CuSO_4$ টুক্‌রা রাখা হয়। এই টুক্‌রাগুলি $CuSO_4$ দ্রবণের সহিত যুক্ত থাকায় $CuSO_4$ দ্রবণ সর্বদা সংপৃক্ত (saturated) থাকে। এই দ্রবণের ভিতর একটি সছিদ্র চিনামাটির পাত্রে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড রাখিয়া ঐ অ্যাসিডের ভিতর পারদের প্রলেপযুক্ত একটি দস্তার দণ্ড রাখা হয়। এই দস্তার দণ্ডটি কোষের ঋণাত্মক মেরু। সালফিউরিক অ্যাসিড কোষের সক্রিয় তরল ও $CuSO_4$ দ্রবণ ছদন-নিবারক। এই কোষের তড়িচ্চালক বল 1.1 ভোল্ট এবং ইহা একরকম স্থায়ী



চিত্র 1·7

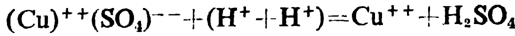
থাকে (constant) থাকে। সুতরাং **কিছুক্ষণের জন্য স্থায়ী তড়িৎ-প্রবাহ পাইতে হইলে এই কোষ খুব সুবিধাজনক।**

কার্যপ্রণালী : দস্তার সহিত H_2SO_4-এর রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে ধনাত্মক তড়িৎ-যুক্ত H^+ আয়ন মুক্ত হয় ও দস্তার দণ্ড নিজে ঋণাত্মক তড়িৎ পাইয়া থাকে।



$$Zn^{++}+H_2SO_4=ZnSO_4+(H^++H^+)$$

এই H^+ আয়ন সচ্ছিদ্র চিনামাটির পাত্রের ছিদ্র হইতে বাহির হইয়া তামার পাত্রের দেওয়ালের দিকে যাইতে চেষ্টা করে। কিন্তু $CuSO_4$ দ্রবণের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত Cu^{++} আয়ন সৃষ্টি হয়।



$$(Cu)^{++}(SO_4)^{--}+(H^++H^+)=Cu^{++}+H_2SO_4$$

এই Cu^{++} আয়ন পাত্রের দেওয়ালে আঘাত দিয়া দেওয়ালে প্রলিপ্ত হয়। সুতরাং তামার পাত্র নিজে ধনাত্মক মেরুতে পরিণত হয়।

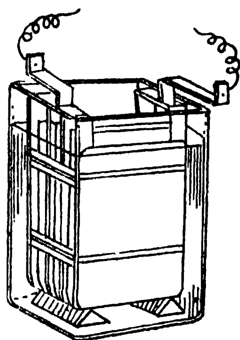
এখানে হাইড্রোজেন গ্যাস তামার গায়ে যুক্ত হইতে না পারায় এই কোষ সম্পূর্ণরূপে ছদনমুক্ত। তাই, এই কোষের তড়িচ্চালক বল এবং তড়িৎপ্রবাহ অনেকক্ষণ যাবৎ একই হারে চালু থাকে। যতই কোষের ক্রিয়া হয় ততই দ্রবণ হইতে তামা দেওয়ালে প্রলিপ্ত হইবার ফলে $CuSO_4$ দ্রবণ লঘু হইতে থাকে। দ্রবণকে সংপৃক্ত রাখিবার জন্য সচ্ছিদ্র তাকে $CuSO_4$ টুক্‌রা রাখা হয়। এই টুকরাগুলি দ্রবীভূত হইয়া দ্রবণকে লঘু হইতে দেয় না। এই কোষের একমাত্র অসুবিধা হইল যে, অব্যবহৃত অবস্থায় থাকাকালীন $CuSO_4$ অণু সচ্ছিদ্র পাত্রের ভিতর ঢুকিয়া দস্তার সহিত রাসায়নিক ক্রিয়া করে। ইহার ফলে কোষটি নানারূপে ক্ষতিগ্রস্ত হয়। এইজন্য অব্যবহৃত অবস্থায় কোষের বিভিন্ন অংশ আলাদা রাখিতে হয়।

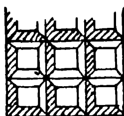
1.9 **সঞ্চায়ক** (Accumulator) **বা সঞ্চয় কোষ** (Storage cell or, Secondary cell) : লেক্‌ল্যান্স বা অন্যান্য কয়েকটি এক তরল কোষে রাসায়নিক পদার্থগুলির ভিতর যে রাসায়নিক ক্রিয়া হয় তাহাই তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করে। যখন এই রাসায়নিক পদার্থ-গুলির ক্রিয়া শেষ হইয়া যায় তখন ইহারা আর প্রবাহ উৎপন্ন করিতে পারে না। তখন ইহাদের ফেলিয়া দিয়া নতুন করিয়া কোষ তৈয়ারী করিতে হয়। এইজন্য ঐ কোষগুলিকে **প্রাথমিক** (primary) কোষ বলা হয়।

সঞ্চয় কোষের কার্যপ্রণালী একটু অন্যরকম। এই কোষে কতকগুলি রাসায়নিক পদার্থের ভিতর ক্রিয়া হইবার ফলে তড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন হয় বটে, কিন্তু রাসায়নিক পদার্থগুলিকে কার্যক্ষম করিবার জন্য বাহিরের কোন উৎস হইতে কোষের ভিতর তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো হয়। ইহাকে কোষের **আহিতকরণ** (charging) বলে। সাধারণত 'মেইন্‌স্' (mains)-এর সাহায্যেই কোষগুলিকে আহিত করা হয়। এইরূপে কোষ সম্পূর্ণ আহিত হইবার পর তাহার ভিতর শক্তি সঞ্চিত হয় ও তাহার ফলেই নানাবিধ কার্যের জন্য এই কোষ হইতে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। এই কারণে ইহাকে সঞ্চয়ক বা সঞ্চয় কোষ বলে। ইহাকে কখন কখন **সেকেণ্ডারী কোষ** (secondary cell)-ও বলা হয়। জাহাজে, ট্রেনে, মোটরগাড়িতে আলো জ্বালিবার

জন্য, পরীক্ষাগারে নানাবিধ কার্যের জন্য ও পেট্রল এঞ্জিনে সঞ্চয় কোষের প্রচুর ব্যবহার দেখিতে পাওয়া যায়।

কোষের বিবরণ ঃ 1859 খ্রীষ্টাব্দে প্ল্যান্টি এই কোষের উদ্ভাবন করেন। 1.8(a) নং চিত্রে এই কোষের একটি ছবি দেখানো হইল। ইহা একটি পুরু কাচের তৈয়ারী পাত্র। এই পাত্রে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড থাকে। এই অ্যাসিডের ভিতর কয়েকটি সীসার পাত সমান্তরালভাবে ডুবানো থাকে এবং এই পাতগুলি পর্যায়ক্রমে (alternately) ধনাত্মক ও ঋণাত্মক দুইটি তড়িৎ-দ্বারের সহিত যুক্ত থাকে। পাতগুলি নিরেট (solid) না করিয়া ঝাঝরার মত জালি (grid) করা থাকে [1.8(b) নং চিত্র]। ঝাঝরার ফাঁকগুলি লিথার্জ (PbO) কিংবা রেডলেড (Pb_3O_4) দ্বারা ভরতি করা থাকে। এই কোষের তড়িচ্চালক বল 2.1 ভোল্ট।





(a) চিত্র 1·8 (b)

যখন কোষ সম্পূর্ণ আহিত হইয়া তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহ করিবার জন্য প্রস্তুত হয়, তখন ইহার অভ্যন্তরস্থ সালফিউরিক অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.25 হয়। কোষ সম্পূর্ণ কার্যক্ষম হইল কিনা—ঐ আপেক্ষিক গুরুত্বই হইবে তাহা বুঝিবার প্রকৃষ্ট উপায়। তাছাড়া, আর একটি বিষয়ের প্রতি লক্ষ্য রাখিতে হয়। বাষ্পীভবনের জন্য কোষের অভ্যন্তরস্থ তরল হইতে জলীয় ভাগ কমিয়া যায় এবং অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব বাড়িয়া যায়। এই জন্য পাত্রের গায়ে একটি দাগ দেওয়া থাকে এবং ঐ স্থানে 'Acid level' কথা লেখা থাকে। যখনই অ্যাসিডের লেভেল ঐ দাগের নীচে চলিয়া যায় তখনই কিছু পাতিত জল ঢালিয়া লেভেল পুনরায় ঐ দাগ পর্যন্ত আনিয়া অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব ঠিক রাখিতে হয়।

একটি সম্পূর্ণ কার্যক্ষম কোষ হইতে তড়িৎপ্রবাহ লইলে উহার ভিতরে যে-রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয় তাহার ফলে সালফিউরিক অ্যাসিড ক্রমশ লঘু হইতে সুরু করে এবং উহার তড়িচ্চালক বল পূর্ণ-মান 2.1 ভোল্ট হইতে আস্তে আস্তে কমিতে থাকে। যখন অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব কমিয়া 1.18-এ দাঁড়ায় এবং তড়িচ্চালক বল 1.8 ভোল্ট হয়, তখন বুঝিতে হইবে যে কোষটি আর তড়িৎপ্রবাহ দিতে সক্ষম নয়। তখন বলা হয়, কোষটি সম্পূর্ণরূপে 'ডিসচার্জড' (discharged) হইয়াছে। ঐ অবস্থায় উহাকে পুনরায় আহিত করিয়া কার্যক্ষম করিতে হয়। **তবে, কোষ কার্যক্ষম কি-না তাহা সব সময়ে শুধু তড়িচ্চালক বল দেখিয়া বোঝা যায় না ;** কারণ কোষ 'ডিসচার্জড' হইবার সময় উহার তড়িচ্চালক বলের বিশেষ পরিবর্তন হয় না। সুতরাং কোষের অবস্থা বুঝিতে গেলে অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব পরীক্ষাই একমাত্র উপায়।

সঞ্চয় কোষকে আহিত করিবার সময় যে-পরিমাণ তড়িৎ-শক্তি কোষকে সরবরাহ করা হয়,

সঞ্চয় কোষ হইতে তড়িৎ-শক্তি লইবার সময় তাহা অপেক্ষা বেশী শক্তি পাওয়া যায় না, একথা বলাই বাহুল্য। অর্থাৎ 'শক্তির নিত্যতা সূত্র' সঞ্চয় কোষের বেলাতেও প্রযোজ্য। সঞ্চয় কোষের শক্তি সরবরাহের সামর্থ্যকে (capacity) 'অ্যাম্পীয়ার-ঘণ্টা' (ampere hour) এককে প্রকাশ করা হয়। অর্থাৎ, কোষ যে প্রবাহ মাত্রা যত ঘণ্টা দিতে সক্ষম—এই দুয়ের গুণফলকে অ্যাম্পীয়ার ঘণ্টা বলে। যেমন, 60 অ্যাম্পীয়ার-ঘণ্টা সামর্থ্যের কোন সঞ্চয় কোষ পূর্ণ আহিত অবস্থায় 60 ঘণ্টাব্যাপী 1 amp. প্রবাহ-মাত্রা অথবা 30 ঘণ্টা ব্যাপী 2 amp. প্রবাহ-মাত্রা সরবরাহ করিতে সক্ষম।

এই কোষের সুবিধা এই যে ইহা হইতে বহুক্ষণব্যাপী একই ভাবে প্রবল তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া সম্ভব। **ইহার আভ্যন্তরীণ রোধ অতি সামান্য।** কিন্তু ইহার অসুবিধা যে ইহা খুব ভারী এবং সতর্ক ব্যবহার না করিলে সহজেই ক্ষতিগ্রস্ত হয়।

সঞ্চয় কোষ ব্যবহার করিবার সময় একটি কথা সর্বদা স্মরণ রাখিতে হইবে যে, কখনও তার দিয়া সরাসরি কোষের দুই মেরু যুক্ত করিবে না—অর্থাৎ, 'সর্ট সার্কিট' (short-circuit) করিবে না। তাহাতে কোষটি চিরতরে নষ্ট হইয়া যাইবার সম্ভাবনা থাকে।

1.10 তড়িৎ কোষ সম্পর্কে কয়েকটি প্রয়োজনীয় তথ্য (Some important facts in connection with electric cells) ঃ তড়িৎ-কোষ সম্পর্কে নিম্নলিখিত তথ্যগুলি সর্বদা মনে রাখা উচিত।

(ক) কোষের তড়িচ্চালক বল কোষের সাইজের উপর নির্ভর করে না। কোষের উপাদানের উপর নির্ভর করে। একই উপাদানে তৈরী কিন্তু বিভিন্ন সাইজের তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল সমান।

(খ) কোষের পাত দুইটি বড় এবং কাছাকাছি হইলে কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ খুব কম হয়; ফলে কোষ প্রদত্ত প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(গ) কোন কোষ মোট যে-পরিমাণ তড়িৎ সরবরাহ করিতে পারে তাহা কোষের উপাদানের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

(ঘ) কোষের পাত এবং সক্রিয় তরলের সংস্পর্শ-তলেই তড়িচ্চালক বলের অবস্থান।

1·11. প্রমাণ কোষ (Standard cell) ঃ যে সকল কোষের তড়িচ্চালক বল অপরিবর্তিত থাকে এবং যাহাদের সাহায্যে অন্যান্য কোষের তড়িচ্চালক বল তুলনা করা যায় তাহাদের প্রমাণ কোষ বলে। তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহের জন্য প্রমাণ কোষ কখনও ব্যবহার করা হয় না। প্রমাণ কোষে স্থানীয় ক্রিয়া বা ছদন ইত্যাদির ত্রুটি থাকে না। অবশ্য, তাপমাত্রা পরিবর্তনে প্রমাণ কোষের তড়িচ্চালক বল সামান্য পরিবর্তিত হয়। ওয়েস্টনের ক্যাডমিয়াম কোষ এইরূপ একটি প্রমাণ কোষ।

1·12: তড়িৎপ্রবাহের ফল (Effects of electric current) ঃ সংহত বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ হইলে নিম্নলিখিত তিনটি ফল পাওয়া যায়। ইহাদের প্রত্যেকটি হইতেই তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা (strength) নির্ণয় করা যায়।

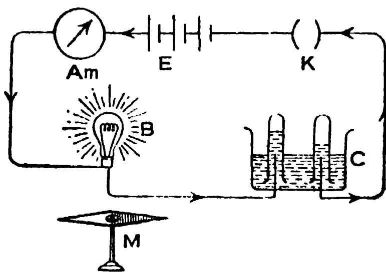
(1) **তাপীয় ফল** (Heating effect) : যখন কোন পরিবাহী-তারের মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটে তখন তার গরম হইয়া পড়ে। দৈনন্দিন বহুরকম ঘটনার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের এই ফলের সহিত আমাদের পরিচয় ঘটে। বিজলিবাতির সরু ফিলামেন্টের ভিতর দিয়া যখন তড়িৎপ্রবাহ চলে তখন ফিলামেন্ট এত গরম হইয়া পড়ে যে, তাহা হইতে আলোর সৃষ্টি হয়। তড়িৎপ্রবাহের এই তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগের দ্বারা বহু প্রয়োজনীয় জিনিস তৈয়ারী হইয়াছে।

(2) **চুম্বকীয় ফল** (Magnetic effect) : যখন কোন তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন তারের চতুর্দিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। একটি চুম্বকশলাকা তড়িৎবাহী-তারের কাছে আনিলেই শলাকার বিক্ষেপ (deflection) উপরোক্ত তথ্য প্রমাণ করিবে। ইহাকে তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফল বলা হয়।

(3) **রাসায়নিক ফল** (Chemical effect) : যখন কোন তরল পরিবাহী, যেমন, ঈষৎ অম্লযুক্ত (acidified) জল, কপার সালফেট (তুঁতে) দ্রবণ (solution) বা সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ ইত্যাদির ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটে তখন জল বা কপার সালফেট বা সিলভার নাইট্রেট প্রভৃতির ভিতর একটি রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয় যাহার ফলে উক্ত পদার্থ-গুলির অণু বিশ্লিষ্ট হইয়া পড়ে; ইহাকে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ফল বা **তড়িৎ-বিশ্লেষণ** (electrolysis) বলে।

তড়িৎপ্রবাহের উপরোক্ত তিনটি ফলাফল একই সঙ্গে একই বর্তনীতে দেখানো যাইতে পারে। 1·9 নং চিত্রে ঐ ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে।

B একটি টর্চের বাল্‌ব, M একটি চুম্বক শলাকা, C একটি জলপূর্ণ কাচপাত্র এবং দুইটি জলপূর্ণ টেস্টটিউব উহার ভিতর উপুড় করিয়া বসানো, K একটি প্লাগ চাবি, E হইল তিনটি স্টোরেজ বা সঞ্চয় কোষের শ্রেণী-সমবায়ে গঠিত ব্যাটারী, Am একটি অ্যাম্‌মিটার। সব যন্ত্রগুলিই শ্রেণী-সমবায়ে একই বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত এবং একই তড়িৎপ্রবাহ সকল যন্ত্রগুলির মধ্য দিয়াই প্রবাহিত হইবে। এখন প্লাগ চাবিতে প্লাগ বসাইলে বর্তনী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ যাইবে। সঙ্গে সঙ্গে দেখা যাইবে যে বাল্‌ব আলো দিতেছে, চুম্বকশলাকা বিক্ষিপ্ত হইয়াছে এবং বুদবুদ্ সৃষ্টি করিয়া টেস্টটিউবে গ্যাস জমা হইতেছে। এই ভাবে তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফল, চুম্বকীয় ফল এবং রাসায়নিক ফল একই সঙ্গে প্রদর্শন করানো যায়।



চিত্র 1·9

1·13. মানুষের দেহের উপর তড়িৎ-প্রবাহের প্রভাব (Physiological effects of electric current) :

মানুষের দেহ তড়িতের পরিবাহী। সুযোগ পাইলে তড়িৎ-প্রবাহ দেহের ভিতর দিয়া চলিয়া যাইবে। ইহাতে দেহে নানারূপ প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হয় এবং

সাধারণভাবে এই প্রতিক্রিয়া ক্ষতিকর। তোমরা যাহারা বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি লইয়া নাড়াচাড়া করিয়াছ তাহারা নিশ্চয়ই কখন-না-কখন বৈদ্যুতিক 'শক্' অনুভব করিয়াছ। তড়িৎ-প্রবাহ শরীরের উপর যে প্রভাব সৃষ্টি করে তাহাকেই 'শক্' বলা হয়। সাধারণত ত্রুটীপূর্ণ বৈদ্যুতিক বাল্‌ব, পাখা, ইস্তিরী, হিটার, সুইচ প্রভৃতি হইতে 'শক্' পাইতে হয়। এই ধরনের যন্ত্রপাতি হইতে যখনই তড়িৎ-প্রবাহ দেহের ভিতর চলিয়া যায় তখনই বৈদ্যুতিক 'শক্' অনুভূত হয়।

বৈদ্যুতিক শকের ফলে দেহের নার্ভগুলি সাময়িকভাবে অসাড় হইয়া পড়ে এবং বেদনা, অনিচ্ছাকৃত পেশী চালনা, পেশী কুঞ্চন প্রভৃতির উদ্ভব হয়। খুব তীব্র প্রবাহের ফলে প্রচণ্ড 'শক্' পাইলে প্রদাহ—এমনকি হৃৎ-স্পন্দন বন্ধ হইয়া মৃত্যুও ঘটিতে পারে। সাধারণত বাহু, দেহ এবং পা হইয়া তড়িৎ-প্রবাহ মাটিতে চলিয়া যায়। হাত ও পা ভিজা থাকিলে প্রবাহ তীব্রতর হয় এবং 'শক্' বেশী হয়। ভোল্টের পরিমাণ বেশী হইলেও 'শক্' বেশী হয়। এই কারণে বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি বিশেষত মেইনস্ (mains) লইয়া কাজ করিবার সময় সতর্কতামূলক ব্যবস্থা অবলম্বন করা উচিত। শুষ্ক কাঠের আসন বা বোর্ডের উপর দাঁড়াইয়া বা রবারের দস্তানা হাতে দিয়া কাজ করিলে 'শক্' পাইবার ভয় থাকে না।

বাতব্যাধি, পক্ষাঘাত, স্মৃতিভ্রংশ, মস্তিষ্ক বিকৃতি প্রভৃতি কয়েকটি রোগে বৈদ্যুতিক 'শক্' কখনও কখনও ভাল ফল প্রদান করে। বৈদ্যুতিক শকের সাহায্যে ঐ সকল রোগ উপশম করার পদ্ধতিকে বলা হয় 'শক্ থেরাপী' (shock therapy)।

Exercises

1. সরল ভোল্টীয় কোষ কি? ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। সরল ভোল্টীয় কোষের ত্রুটিগুলি উল্লেখ ও বর্ণনা কর। [*H. S. Exam. 1963,' 66, '72*]

2. লেক্‌ল্যান্স কোষের বর্ণনা কর। এই কোষের প্রধান ত্রুটিগুলি দূর করিবার জন্য কি ব্যবস্থা অবলম্বন করা হইয়াছে? [*H. S. Exam. (Comp). 1960 H. S. 1962, '66*]

3. ড্যানিয়েল কোষের বর্ণনা দাও এবং কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। এই কোষের ত্রুটি দূর করিবার জন্য কি ব্যবস্থা করা হইয়াছে? [*H. S. Exam. 1966*]

4. নির্জল কোষ তৈরী করিবার পদ্ধতি কি? কি কাজের জন্য এই কোষ ব্যবহৃত হয়?

5. তড়িৎপ্রবাহ পাইবার জন্য আজকাল আর সরল ভোল্টীয় কোষ ব্যবহৃত হয় না কেন? অন্য যে-কোন প্রকারের একটি কোষ বর্ণনা কর এবং ঐ কোষে মূল কোষের ত্রুটিগুলি কি উপায়ে দূর করা হইয়াছে, তাহা ব্যাখ্যা কর। [*H. S. (Comp) 1961*]

6. সঞ্চয় কোষ কাহাকে বলে? ড্যানিয়েল অথবা লেক্‌ল্যান্স কোষের সহিত সঞ্চয় কোষের পার্থক্য কি? একটি সঞ্চয় কোষ বর্ণনা কর। সঞ্চয় কোষের দুইটি বন্ধনীর সংক্ষেপ সংযোগ করা উচিত নয় কেন?

7. নিম্নলিখিত কাজের জন্য কোন্ কোষ ব্যবহার করিবে এবং কেন?—(i) সাইকেলের বাতি জ্বালিবার জন্য, (ii) ঘরের বাতি জ্বালিবার জন্য, (iii) বৈদ্যুতিক ঘণ্টা বাজাইবার জন্য।

8. তড়িৎপ্রবাহের (*a*) তাপীয় ফল, (*b*) চুম্বকীয় ফল এবং (*c*) রাসায়নিক ফল একই সঙ্গে প্রদর্শন করিবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। বর্তনী ব্যবস্থার একটি চিত্র আঁক। [*H. S. (Comp) 1965*]

ওহ্‌মের সূত্র ও রোধ

(Ohm's law and Resistance)

2·1. **প্রবাহ-মাত্রা** (Current strength)ঃ কোন পরিবাহী তারকে তড়িৎকোষের সহিত যুক্ত করিলে তার দিয়া স্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ চলিতে থাকে। তড়িতের এই স্থায়ী প্রবাহের সহিত কোন নলের ভিতর দিয়া জলপ্রবাহের যথেষ্ট সাদৃশ্য আছে পূর্বেই বলা হইয়াছে। নলের দুই মুখে যদি চাপের পার্থক্য সর্বদা বজায় রাখা যায় তবে নল দিয়া স্থায়ী জলপ্রবাহ হইবে (2·1 নং চিত্র)। নল দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে কতখানি জল বাহির হইয়া আসিতেছে তাহা দ্বারা আমরা উক্ত জলপ্রবাহের মাত্রা মাপিতে পারি। যদি 10 সেকেণ্ডে 50 গ্র্যাম জল নল দিয়া বাহির হয় তবে



চিত্র 2·1

নলের ভিতর দিয়া জলের প্রবাহ মাত্রা $\frac{50}{10}=5$ গ্র্যাম প্রতি সেকেণ্ডে। ঠিক একই ভাবে কোন তার দিয়া যখন তড়িৎপ্রবাহ হয় তখন ঐ তারের কোন বিন্দু দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে কতখানি তড়িৎ অতিক্রম করে তাহা দ্বারা তড়িৎপ্রবাহ-মাত্রা মাপা হয়। যদি, 't' সেকেণ্ডে 'Q' পরিমাণ তড়িৎ তারের কোন বিন্দু অতিক্রম করে তবে উক্ত তারে তড়িতের প্রবাহ-মাত্রা $I=\frac{Q}{t}$

একমাত্র সংহত বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ হইতে পারে—খণ্ডিত বর্তনীতে হয় না। এখন, যদি আমরা এমন একটি নলের ব্যবস্থা করি যাহা বৃত্তাকার এবং অবিচ্ছিন্ন (continuous), তাহা হইলে ঐ নলের ভিতর দিয়া জলপ্রবাহ হইলে নলের প্রত্যেক বিন্দুতে প্রবাহ-মাত্রা সমান হইবে। তড়িৎ-প্রবাহের বেলাতেও অনুরূপ ঘটনা ঘটে। সংহত বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে বর্তনীর সর্বত্র প্রবাহ-মাত্রা সমান থাকে।

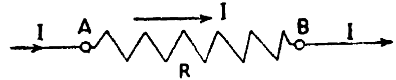
2·2. **ওহ্‌মের সূত্র** (Ohm's law)ঃ 1826 খ্রীষ্টাব্দে বিশিষ্ট বিজ্ঞানী জি. এস্. ওহ্‌ম প্রবাহ-মাত্রা ও বিভব-প্রভেদের সম্পর্কযুক্ত সূত্র নির্ণয় করেন। এই সূত্রকে ওহ্‌মের সূত্র বলা হয়। ইহা প্রবাহী তড়িৎবিজ্ঞানের একটি প্রাথমিক ও প্রয়োজনীয় সূত্র। এই সূত্রটি হইলঃ—

তাপমাত্রা ও অন্যান্য ভৌত অবস্থা (physical conditions) অপরিবর্তিত থাকিলে কোন পরিবাহীর প্রবাহ-মাত্রা ঐ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-প্রভেদের সমানুপাতিক।

[For a given conductor the strength of the current (I) that passes through it is proportional to the potential difference (V) maintained

between the ends of the conductor provided its temperature and other physical conditions remain constant.]

মনে কর, AB একটি পরিবাহী (2·2 নং চিত্র)। উহার প্রবাহ-মাত্রা ধরা যাউক I, A ও B প্রান্তের বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B হইলে ওহ্‌মের সূত্রানুযায়ী ঃ $(V_A - V_B) \propto I$.



চিত্র 2·2

সুতরাং, AB পরিবাহীর তাপমাত্রা ও অন্যান্য ভৌত অবস্থা (যেমন, দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ, ইত্যাদি) পরিবর্তন না করিলে, উহার প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ $(V_A - V_B)$ বৃদ্ধি পাইলে তড়িৎ-প্রবাহমাত্রা I বৃদ্ধি পাইবে এবং বিভব-প্রভেদ কমিলে প্রবাহমাত্রাও কমিবে।

এখন আমরা লিখিতে পারি, $(V_A - V_B) = R.I.$ [R=ধ্রুবক]

$$\therefore \frac{V_A - V_B}{I} = R$$

এই ধ্রুবক 'R' হইল পরিবাহীর **রোধ** (resistance)। সুতরাং ওহ্‌মের সূত্র হইতে পরিবাহীর রোধের পরিমাপ করা যায়।

2·3. তড়িৎ-সম্বন্ধীয় বিভিন্ন রাশির ব্যবহারিক একক ঃ

তড়িৎ-বিজ্ঞান অধ্যয়নে প্রবাহ-মাত্রা, রোধ প্রভৃতি বিভিন্ন রাশির কথা বলা হইবে। এই রাশিগুলির ব্যবহারিক একক মনে রাখা প্রয়োজন। নিম্নে ইহাদের একক একস্থানে গুছাইয়া বলা হইল।

(i) **তড়িতের পরিমাণ** (Quantity of electricity) ঃ তড়িতের পরিমাণকে **কুলম্ব** (coulomb) এককে প্রকাশ করা হয়। যে পরিমাণ তড়িৎ সিলভার নাইট্রেট (silver nitrate) দ্রবণে পাঠাইলে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে ·001118 গ্র্যাম রূপা ক্যাথোড-প্লেটে জমা করিতে পারে তাহাকে 1 কুলম্ব ধরা হয়।

(ii) **তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা** (Current strength) ঃ প্রবাহ মাত্রার ব্যবহারিক একক **অ্যাম্‌পীয়ার**। পরিবাহীর কোন বিন্দু দিয়া যদি এক সেকেণ্ডে এক কুলম্ব তড়িৎ অতিক্রম করে তবে পরিবাহীর প্রবাহমাত্রাকে এক অ্যাম্‌পীয়ার ধরা হয়। অর্থাৎ,

$$I \text{ (অ্যাম্‌পীয়ার)} = \frac{Q \text{ (কুলম্ব)}}{t \text{ (সেকেণ্ড)}} \quad \text{অথবা } Q = I.\ t.$$

অ্যাম্‌পীয়ার অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর দুইটি একক প্রচলিত আছে। ইহাদের নাম মিলি-অ্যাম্‌পীয়ার ও মাইক্রো-অ্যাম্‌পীয়ার।

10^3 মিলি-অ্যাম্‌পীয়ার = 1 অ্যাম্‌পীয়ার

10^6 মাইক্রো-অ্যাম্‌পীয়ার = 1 অ্যাম্‌পীয়ার

(iii) **বিভব-প্রভেদ** (Potential difference) ও **তড়িচ্চালক বল** (Electromotive force) ঃ উভয়েরই ব্যবহারিক একক **ভোল্ট**। যদি পরিবাহীর এক প্রান্ত

হইতে অন্য প্রান্তে 1 কুলম্ব তড়িৎ পাঠাইতে 10^7 আর্গ অথবা 1 জুল কার্য করিতে হয় তবে উক্ত পরিবাহীর বিভব-প্রভেদ 1 ভোল্ট ধরা হয়।

(iv) **রোধ** (Resistance) : রোধের ব্যবহারিক একক **ওহ্ম**।

$$1 \text{ ওহ্ম} = \frac{1 \text{ ভোল্ট}}{1 \text{ অ্যাম্পীয়ার}}$$

তাছাড়া, 10^6 ওহ্ম $=1$ মেগ-ওহ্ম

এবং 10^{-6} ওহ্ম $=1$ মাইক্রো-ওহ্ম

ব্যবহারিক এবং তড়িচ্চুম্বকীয় এককের সম্পর্ক (Relation betweem practical unit and electromagnetic unit):

মনে রাখিবে, 1 ভোল্ট $=10^8$ বিভবপ্রভেদের তড়িৎচুম্বকীয় একক

এবং 1 অ্যাম্পীয়ার $=10^{-1}$ তড়িৎপ্রবাহের তড়িৎচুম্বকীয় একক

$$\therefore \quad 1 \text{ ওহ্ম} = \frac{1 \text{ ভোল্ট}}{1 \text{ অ্যাম্পীয়ার}} = \frac{10^8}{10^{-1}} = 10^9 \text{ রোধের তড়িৎচুম্বকীয় একক}$$

2·4. অ্যাম্পীয়ার, ভোল্ট ও ওহ্মের আন্তর্জাতিক সংজ্ঞা :

(i) **আন্তর্জাতিক অ্যাম্পীয়ার** (International ampere) : যে তড়িৎপ্রবাহ সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইলে প্রতি সেকেণ্ডে ·001118 গ্রাম রূপা বিন্যস্ত (deposit) করে তাহাই আন্তর্জাতিক হিসাব মতে এক অ্যাম্পীয়ার ধরা হয়।

(ii) **আন্তর্জাতিক ভোল্ট** (International volt) : 20°C তাপমাত্রায় ওয়েস্টন ক্যাডমিয়াম কোষের যে তড়িচ্চালক বল হয় তাহার $\frac{1}{1 \cdot 0183}$ অংশকে আন্তর্জাতিক হিসাব মতে এক ভোল্ট ধরা হয়।

(iii) **আন্তর্জাতিক ওহ্ম** (International ohm) : 1 বর্গ মি.মি. প্রস্থচ্ছেদ যুক্ত 106·3 সে.মি. উচ্চ এবং 14·4521 গ্রাম ভরযুক্ত এক পারদস্তম্ভের রোধকে আন্তর্জাতিক হিসাব-মতে 1 ওহ্ম ধরা হয়।

2·5. তড়িচ্চালক বল এবং বিভব-প্রভেদের পার্থক্য (Difference between electromotive force and potential difference) :

তড়িৎ বর্তনী আলোচনা করিতে গিয়া প্রায়ই তড়িচ্চালক বল এবং বিভব-প্রভেদের কথা আসিবে। 2·4 অনুচ্ছেদে বলা হইয়াছে যে ইহাদের একক অভিন্ন; কিন্তু মনে রাখিতে হইবে যে উহারা এক জিনিষ নয়। ওহ্মের সূত্রের বিস্তারিত আলোচনার পূর্বে ইহাদের পার্থক্য ভালভাবে বুঝিয়া রাখা প্রয়োজন।

তড়িৎবর্তনীর কোন অংশে যদি অন্যান্য শক্তি তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয়, তাহা হইলে বর্তনীর ঐ অংশে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। অর্থাৎ তড়িচ্চালক বলকে এমন একটি উৎসরূপে কল্পনা করা যাইতে পারে যাহা অন্যান্য শক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করে। তড়িচ্চালক বলের ক্রিয়ার ফলে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক তড়িৎ পৃথক হইয়া পড়ে এবং উহারা কিছু বৈদ্যুতিক

স্থিতিশক্তির (electrical potential energy) অধিকারী হয়। তখন উহাদের ভিতর একটি বিভব-বৈষম্যের সৃষ্টি হয়। তড়িচ্চালক বলের সংজ্ঞা হিসাবে বলা হয়, কোষ যখন খণ্ডিত বর্তনীতে থাকে তখন উহার বিভব-বৈষম্যকে তড়িচ্চালক বলের সমান ধরা হয়।)

পক্ষান্তরে, তড়িৎবর্তনীর কোন অংশে যদি তড়িৎ-শক্তি অন্যান্য শক্তিতে রূপান্তরিত হয় তাহা হইলে বর্তনীর ঐ অংশে বিভব-প্রভেদ আছে বলিয়া ধরা হয়। বিভব-প্রভেদের ভিতর দিয়া যাইবার কালে, তড়িতাধানের বৈদ্যুতিক স্থিতিশক্তি লোপ পায় এবং তৎপরিবর্তে তাপ শক্তি, যান্ত্রিক শক্তি, রাসায়নিক শক্তি ইত্যাদি অন্যান্য প্রকার শক্তির উদ্ভব হয়।

সংক্ষেপ করিলে বলা যায় যে, কোন তড়িৎ-কোষে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে উহার দুই পাতে যে বিভব-বৈষম্য ঘটে তাহাকেই তড়িচ্চালক বল বলে। কিন্তু যখনই তড়িৎকোষ বর্তনীতে প্রবাহ পাঠায় তখন তড়িৎপ্রবাহ কোষের ভিতরকার তরলের রোধ (যাহাকে বলা হয় আভ্যন্তরীণ রোধ বা internal resistance) অতিক্রম করায় পাত দুইটির বিভব-বৈষম্য কিছু কমিয়া যায়। তখনকার বিভব-বৈষম্যকে কোষের বিভব-প্রভেদ বলা হয়; সুতরাং বিভব প্রভেদ (p.d.) তড়িচ্চালক বল (e.m.f.) অপেক্ষা কম। শুধু তড়িৎ-কোষ নয়, সর্বক্ষেত্রেই ইহা প্রযোজ্য।)

তাছাড়া, তড়িচ্চালক বলকে যদি কারণ ধরা যায় তবে বিভব-প্রভেদ হইবে উহার ফল।

2·6. **রোধ** (Resistance) **এবং রোধের নিয়ম** (Laws of resistance)**ঃ** তড়িৎবিজ্ঞানে রোধ কথাটি খুবই প্রয়োজনীয়। 2·1 অনুচ্ছেদে বর্ণিত কোন নল দিয়া জলপ্রবাহের তুলনা দ্বারা রোধ কথাটির তাৎপর্য খুব সহজে বোঝা যাইবে।

আমরা উক্ত অনুচ্ছেদে দেখিয়াছি যে, কোন নলের দুই মুখে চাপের পার্থক্য থাকিলে নল দিয়া জলপ্রবাহ হয়। এখন চাপের পার্থক্য ঠিক রাখিয়া যদি নল মোটা বা সরু অথবা বেশী লম্বা বা কম লম্বা করা হয় তবে কি প্রবাহমাত্রা ঠিক থাকিবে? একথা সহজে বোঝা যায় যে, প্রবাহমাত্রা নলের প্রস্থচ্ছেদ এবং দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। প্রস্থচ্ছেদ বেশী হইলে অর্থাৎ নল মোটা হইলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে কিন্তু নল দীর্ঘ হইলে প্রবাহমাত্রা হ্রাস পাইবে। অথবা, আমরা বলিতে পারি, মোটা নলে জলপ্রবাহ কম বাধা পায় কিন্তু নল দীর্ঘ হইলে বাধা বৃদ্ধি পায়।

কোন তার দিয়া তড়িৎ প্রবাহ হইলে ঠিক একই ব্যাপার ঘটে। তড়িৎ প্রবাহমাত্রা তারের প্রস্থচ্ছেদ এবং দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। তারের প্রস্থচ্ছেদ বাড়িলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং দৈর্ঘ্য বেশী হইলে প্রবাহমাত্রা কমিয়া যায়। সুতরাং মোটা তারে তড়িৎপ্রবাহ কম বাধা পায় এবং তারের দৈর্ঘ্য বাড়িলে বাধাও বৃদ্ধি পায়। তড়িৎপ্রবাহের বিরুদ্ধে এই বাধাকে **রোধ** বলে।

রোধের নিয়ম ঃ কোন পরিবাহীর রোধ পরিবাহীর দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ ও উপাদানের উপর নির্ভর করে। দৈর্ঘ্য l, প্রস্থচ্ছেদ A এবং রোধ R হইলে,

(*a*) একই উপাদানের ও সমান প্রস্থচ্ছেদযুক্ত বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের তারের রোধ দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক। অর্থাৎ $R \propto l$ যখন A অপরিবর্তিত থাকে।

(*b*) একই উপাদানের ও সমান দৈর্ঘ্যের বিভিন্ন প্রস্থচ্ছেদযুক্ত তারের রোধ প্রস্থচ্ছেদের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ $R \propto \frac{1}{A}$ যখন l অপরিবর্তিত থাকে।

(c) সমান প্রস্থচ্ছেদ ও দৈর্ঘ্যের কিন্তু বিভিন্ন উপাদানের তারের রোধ উপাদানের উপর নির্ভর করে।

সুতরাং রোধ $R \propto \frac{l}{A}$ অথবা $R = \rho \times \frac{l}{A}$ [ρ = ধ্রুবক]

ধ্রুবক ρ-কে বলা হয় **রোধাঙ্ক** (specific resistance or resistivity) এবং ইহা পরিবাহীর উপাদানের উপর নির্ভর করে।

রোধাঙ্কের সংজ্ঞা : (Definition of specific resistance) :

যখন $l = 1$ এবং $A = 1$, তখন $R = \rho$ অর্থাৎ, কোন উপাদানের রোধাঙ্ক বলিতে ঐ উপাদানের একক ঘনকের রোধ বুঝায়। যেমন, তামার রোধাঙ্ক $1{\cdot}62 \times 10^{-6}$ বলিতে আমরা বুঝি যে 1 cm. দৈর্ঘ্য, 1 cm. প্রস্থ এবং 1 cm. উচ্চতা বিশিষ্ট তামার একটি ঘনক লইলে উহার দুই বিপরীত তলের মধ্যে রোধ হইবে $1{\cdot}62 \times 10^{-6}$ ohm

রোধাঙ্কের একক : নিম্নলিখিত উপায়ে আমরা রোধাঙ্কের একক নির্ধারণ করিতে পারি। আমরা জানি, $R = \rho \times \frac{l}{A}$; প্রত্যেক রাশির বিভিন্ন একক বসাইয়া আমরা লিখিতে পারি,

$$R \text{ (ওহম্)} = \rho \times \frac{(l \text{ সে. মি.})}{(A \text{ সে.মি.})^2}$$

$$\therefore \quad \rho = \frac{R \text{ (ওহম্)} \times A (\text{সে. মি.})^2}{l \text{ (সে. মি.)}} = \frac{RA}{l} \text{ ওহম্-সে. মি.}$$

2·7 রোধক (Resistor) এবং পরিবাহিতা (Conductance) :

যে পদার্থের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চলে তাহাকে সাধারণভাবে পরিবাহী (conductor) বলা হয়। পরিবাহী হইলেও সাধারণত উহার কিছু না কিছু রোধ থাকে। কোন পদার্থই বিশুদ্ধ পরিবাহী নহে। প্রবাহকে হ্রাস করিবার জন্য বর্তনীতে যদি কোন পরিবাহীর রোধকে ব্যবহার করা হয়, তবে সেক্ষেত্রে উহাকে পরিবাহী না বলিয়া **রোধক** (resistor) বলা হয়।

একই প্রস্থচ্ছেদ ও দৈর্ঘ্য লইলে দেখা যায় যে বিভিন্ন ধাতুর ভিতর রূপার তার তড়িৎপ্রবাহের বিরুদ্ধে সর্বাপেক্ষা কম বাধা সৃষ্টি করে। সাধারণ ব্যবহারের পক্ষে রূপা ব্যয়বহুল হওয়ায়, তামা—পরিবাহী হিসাবে যাহার স্থান রূপার পরেই—বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। কোন বর্তনীতে প্রবাহ-মাত্রা খুব হ্রাস করিতে হইলে অর্থাৎ, উচ্চ রোধের (high resistance) প্রয়োজন হইলে ইউরেকা (60% তামা এবং 40% নিকেল), ম্যাংগানিন (84% তামা, 12% ম্যাংগানিজ এবং 4% নিকেল) এবং নাইক্রোম (80% নিকেল, 20% ক্রোমিয়াম) প্রভৃতি বিশেষ সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয়। তামার তুলনায় ইউরেকা ও ম্যাংগানিনের রোধ প্রায় 25 গুণ এবং নাইক্রোমের প্রায় 60 গুণ।

পরিবাহিতা (Conductance) : যে পদার্থের রোধ খুব কম তাহার ভিতর দিয়া তড়িৎ সহজে চলাচল করে। এই কারণে রোধের বিপরীত গুণকে পরিবাহিতা এবং রোধাঙ্কের

বিপরীত রাশিকে পরিবাহিতাঙ্ক (specific conductivity) বলা হয়। পরিবাহিতা পরিমাপের একক রোধের এককের বিপরীত অর্থাৎ "মো" (mho)। যেমন, কোন তামার তারের রোধ ·01 ওহম হইলে, উহার পরিবাহিতা $=\frac{1}{\cdot 01}=100$ মো এবং তামার রোধাঙ্ক

2×10^{-6} ওহম-সে.মি. হইলে তামার পরিবাহিতাঙ্ক $=\frac{1}{2\times10^{-6}}=0.5\times10^{6}$ মো-সে. মি.।

যেহেতু পরিবাহিতা রোধের বিপরীত, সেইহেতু যে যে কারণে কোন বস্তুর রোধ বৃদ্ধি পাইবে, সেই সেই কারণে ঐ বস্তুর পরিবাহিতা হ্রাস পাইবে।

2·8 **রোধের উপর বিভিন্ন বিষয়ের প্রভাব** (Effect of different factors on resistance) : নির্দিষ্ট উপাদানের, নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের এবং নির্দিষ্ট প্রস্থচ্ছেদের কোন পরিবাহীর রোধ নির্দিষ্ট হইলেও, অন্যান্য কতকগুলি বিষয়ের পরিবর্তনে উহার রোধের পরিবর্তন হইতে পারে।

(ক) **তাপমাত্রার প্রভাব** (Effect of temperature) : পরিবাহীর রোধ উহার তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। সাধারণত পরিবাহীর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা কমিলে রোধ কমিয়া যায়।

ধর, R_o=কোন পরিবাহীর 0°C তাপমাত্রায় রোধ R_t=ঐ পরিবাহীর t°C তাপমাত্রায় রোধ; তাহা হইলে $R_t=R_o(1+\alpha.t)$

α একটি ধ্রুবরাশি। ইহাকে বলা হয় **রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক** (temperature coefficient of resistance)।

কার্বন প্রভৃতি কয়েকটি পদার্থের রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে কমিয়া যায়। যেমন, কার্বন ফিলামেন্ট তৈয়ারী বৈদ্যুতিক বাতির ঠাণ্ডা অবস্থায় রোধ জ্বলন্ত অবস্থায় হ্রাস পাইয়া প্রায় অর্ধেক হইতে দেখা যায়। 0°C-এ ভাল্‌কানাইজ্‌ড্ ইণ্ডিয়া রাবারের (V.I.R.) রোধ 24°C তাপমাত্রায় হ্রাস পাইয়া প্রায় $\frac{1}{4}$th হইয়া যায়।

(খ) **আলো, চৌম্বক ক্ষেত্র, চাপ প্রভৃতির প্রভাব** : তাপমাত্রা ছাড়া যদিও অন্যান্য ভৌত অবস্থা (physical conditions) কোন পরিবাহীর রোধের উপর সাধারণভাবে বিশেষ কোন প্রভাব বিস্তার করে না, তথাপি কিছু কিছু ক্ষেত্রে আলোক-রশ্মি, চৌম্বক-ক্ষেত্র ও চাপ পরিবাহীর রোধ পরিবর্তন করিতে পারে বলিয়া প্রমাণিত হইয়াছে এবং ইহাদের প্রত্যেকটিরই গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে।

সেলেনিয়াম (selenium) নামক একপ্রকার ধাতুর উপর আলোকরশ্মি পড়িলে উহার রোধ হ্রাস পায়। আলোকরশ্মি তীব্রতা (intensity) যত বাড়ে রোধও তত হ্রাস পায়। সম্পূর্ণ অন্ধকারে সেলেনিয়ামের রোধ হয় সর্বাধিক। আলোকরশ্মির সাহায্যে সেলেনিয়ামের রোধের হ্রাস-বৃদ্ধি করিয়া কোন বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রার ইচ্ছামত হ্রাস বৃদ্ধি করা যায়। এই কারণে সেলেনিয়াম ব্যবহার করিয়া রাস্তায় স্বয়ংক্রিয় আলোক ব্যবস্থা, বিপদসংকেতসূচক স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থা প্রভৃতি করা হইয়া থাকে। আজকাল, অবশ্য সেলেনিয়ামের পরিবর্তে ফটো ইলেক্‌ট্রিক সেল

(photo-electric cell) ব্যবহার করা হইতেছে, কারণ, সেলেনিয়ামের তুলনায় উক্ত সেল অনেক বেশী কার্যকর প্রমাণিত হইয়াছে।

বিসমাথ ধাতুকে চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর রাখিলে উহার রোধের পরিবর্তন হয়, দেখা গিয়াছে। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য যত বৃদ্ধি করা যায় বিসমাথের রোধ তত বৃদ্ধি পায়। এই ঘটনা প্রয়োগ করিয়া চৌম্বক প্রাবল্য পরিমাপের একটি পদ্ধতি প্রচলিত আছে।

আবার, কার্বন গুঁড়ার উপর চাপ প্রয়োগ করিলে উহার রোধ হ্রাস পায়। চাপের তারতম্যে কার্বন গুঁড়ার রোধের হ্রাস-বৃদ্ধি কার্বন মাইক্রোফোন যন্ত্রে প্রয়োগ করা হয়।

Examples (1) এক ঘন সেন্টিমিটার তামার রোধ নির্ণয় কর যখন (i) উহাকে 0·32 মি. মি. ব্যাসযুক্ত তারে পরিণত করা হইল, (ii) উহাকে 1·2 মি. মি. পুরু পাতে পরিণত করা হইল। প্রবাহ লম্বভাবে এক পিঠ হইতে অন্য পিঠে প্রবাহিত হইতেছে। তামার রোধাঙ্ক$=1{\cdot}59\times10^{-6}$ ওহ্‌ম্‌-সে. মি.।

উ। আমরা জানি, $R=\rho\times\dfrac{l}{A}$

এক্ষেত্রে, $A=\pi r^2$; আবার $\pi r^2\times l=1$ c.c. $\therefore\ l=\dfrac{1}{\pi r^2}$

সুতরাং $R=\rho\times\dfrac{1}{(\pi r^2)^2}=\dfrac{1.59\times10^{-6}}{\{3{\cdot}14\times({\cdot}016)^2\}^2}=2{\cdot}458$ ওহ্‌ম্‌।

(ii) যেহেতু তড়িৎ-প্রবাহ লম্বভাবে এক মুখ হইতে অন্য মুখে যাইতেছে, এক্ষেত্রে, $l=0{\cdot}12$ সে. মি.; আবার, $A\times l=1$c.c.; $\therefore\ A=\dfrac{1}{l}$

সুতরাং $R=\rho\times\dfrac{l}{1/l}=\rho l^2=1{\cdot}59\times10^{-6}\times(0{\cdot}12)^2$

$=2{\cdot}3\times10^{-8}$ ওহ্‌ম্‌ (প্রায়)।

(2) একটি তারের রোধ প্রতিমিটারে 1·2 ওহ্‌ম্‌ এবং রোধাঙ্ক $47{\cdot}5\times10^{-6}$ ওহ্‌ম্‌-সে. মি.; উহার ব্যাস কত?

উ। আমরা জানি, $R=\rho\times\dfrac{l}{A}$

তারের ব্যাস 'd' হইলে $A=\dfrac{\pi d^2}{4}$; কাজেই, $R=\rho\times\dfrac{4l}{\pi d^2}$

এক্ষেত্রে, $R=1{\cdot}2$ ওহ্‌ম্‌, $\rho=47{\cdot}5\times10^{-6}$; $l=1$ মিটার$=100$ সে. মি.

$$\therefore\ 1{\cdot}2=\frac{47{\cdot}5\times10^{-6}\times4\times100}{3{\cdot}14\times d^2}$$

or, $d^2=\dfrac{47{\cdot}5\times10^{-6}\times4\times100}{3{\cdot}14\times1{\cdot}2}$ or, $d=\dfrac{3{\cdot}548}{50}=0{\cdot}071$ সে. মি.

কয়েকটি পদার্থের রোধাঙ্কের তালিকা

(ওহ্‌ম্‌-সে.মি.)

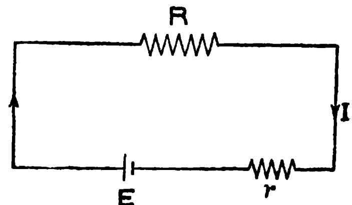
পদার্থ	রোধাঙ্ক	পদার্থ	রোধাঙ্ক
অ্যালুমিনিয়াম	$3{\cdot}2\times10^{-6}$	পিতল	$7-9\times10^{-6}$
তামা	$1{\cdot}8\times10^{-6}$	জার্মান সিলভার	$15-40\times10^{-6}$
প্লাটিনাম	$10{\cdot}8\times10^{-6}$	ইউরেকা	$49-52\times10^{-6}$
রূপা	$1{\cdot}6\times10^{-6}$	ম্যাংগানিজ	$0{\cdot}42\times10^{-6}$
পারদ	$94{\cdot}1\times10^{-6}$	ট্যাংস্টেন	$5{\cdot}5\times10^{-6}$

2·9 **কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ ও নষ্ট ভোল্ট** (Internal resistance of a cell and lost volt)ঃ তড়িৎ কোষযুক্ত কোন সংহত বর্তনীতে যখন তড়িৎ-প্রবাহ চলে, তখন ঐ প্রবাহ যেমন বহির্বর্তনীতে চালু থাকে তেমনি উহা কোষের সক্রিয় তরলের ভিতর দিয়াও প্রবাহিত হয়। কোষের ভিতর তড়িৎপ্রবাহের গতি ঋণাত্মক মেরু হইতে ধনাত্মক মেরুর দিকে হয়। এই মেরুদ্বয়ের ভিতরকার তরল তড়িৎ-প্রবাহের বিরুদ্ধে কিছু বাধার সৃষ্টি করে। ইহাকে কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ বলা হয়। কোষ প্রদত্ত তড়িৎ-প্রবাহ শুধু যে কোষের তড়িচ্চালক বলের উপর নির্ভর করে তাহা নয়; আভ্যন্তরীণ রোধের উপরও নির্ভর করে। বেশী তড়িৎ-প্রবাহ পাইতে গেলে কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ খুব কম হওয়া প্রয়োজন।

সক্রিয় তরল, মেরুদ্বয়ের দূরত্ব, উহাদের সাইজ এবং অন্যান্য কয়েকটি বিষয়ের উপর কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ নির্ভর করে। মেরুদ্বয়ের সাইজ খুব বড় হইলে এবং উহারা খুব কাছাকাছি থাকিলে আভ্যন্তরীণ রোধ কম হয়। কয়েকটি বহুল ব্যবহৃত কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের মোটামুটি মান নিম্নে দেওয়া হইল।

লেকল্যান্স কোষ	→	1 ওহ্‌ম্‌ হইতে 5 ওহ্‌ম্‌ পর্যন্ত
নির্জল কোষ	→	0·1 ওহ্‌ম্‌ ,, 0·5 ওহ্‌ম্‌ ,,
ড্যানিয়েল কোষ	→	1 ওহ্‌ম্‌ ,, 6 ওহ্‌ম্‌
সঞ্চয় কোষ	→	প্রায় 0 01 ওহ্‌ম্‌

নষ্ট ভোল্ট (Lost volt)ঃ কোন কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ এমনভাবে ব্যবহার করে যেন উহা কোষের সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত আছে। মনে কর, E তড়িচ্চালক বলের r আভ্যন্তরীণ রোধের একটি তড়িৎ কোষ R রোধের একটি রোধকের সহিত যুক্ত আছে [চিত্র নং 2.3]। এক্ষেত্রে মনে করা যাইতে পারে যে বর্তনীর মোট রোধ গঠিত হইতেছে বহিঃরোধ R এবং কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ



চিত্র 2·3

r-এর শ্রেণী সমবায়ে। যদি বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা I হয় তবে ওহম্‌ সূত্র হইতে পাই,

$I=\frac{E}{R+r}$ কারণ বর্তনীর মোট রোধ$=R+r$. অতএব, $E=I.R.+I.r=V+I.r$

এস্থলে V হইতেছে কোষের প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ।

কোন তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল E এবং আভ্যন্তরীণ রোধ r প্রায় অপরিবর্তিত থাকে বলিয়া উপরোক্ত সমীকরণ হইতে আমরা বলিতে পারি, বিভব-প্রভেদ V বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা I-এর উপর নির্ভর করে এবং কোনও ক্ষেত্রেই উহা তড়িচ্চালক বল E-এর বেশী হইতে পারে না।

যখন $I=0$ তখন $V=E$, অর্থাৎ বর্তনীতে যখন কোন প্রবাহ নাই তখন তড়িচ্চালক বল ও বিভব-প্রভেদ পরস্পরের সমান। এই কারণে **তড়িচ্চালক বলের সংজ্ঞা হিসাবে বলা হয় যে, যখন কোষ খণ্ডিত বর্তনীতে** (open circuit) **থাকে তখন উহার বিভব-প্রভেদ উহার তড়িচ্চালক বলের সমান।**

পূর্বের সমীকরণকে একটু ঘুরাইয়া লিখিলে আমরা পাই,

$$I.\ r=E-V \text{ or, } r=\frac{E-V}{I}$$

এই সমীকরণ হইতে আমরা কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় করিতে পারি।

এখন, E হইল খণ্ডিত বর্তনীতে কোষের বিভব-প্রভেদ এবং V হইল সংহৃত বর্তনীতে (closed circuit) কোষের বিভব-প্রভেদ। $(E-V)$ তড়িচ্চালক বল কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করে; এই প্রবাহ কোষের বহির্বর্তনীতে কোন কাজে আসে না। $(E-V)$-কে **আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন** (internal fall of potential) বা **নষ্ট ভোল্ট** (lost volt) বলা হয়। প্রবাহ-মাত্রা (I) ও আভ্যন্তরীণ রোধের (r) গুণফল হইবে আভ্যন্তরীণ বিভব-পতনের সমান।

জেনারেটার হইতে দূরবর্তী লাইন বরাবর তড়িৎপ্রবাহের সময় এইরূপ বিভব-পতন হয়। তাই জেনারেটার প্রান্তের বিভব অপেক্ষা গ্রাহক প্রান্তের (receiving end) বিভব সর্বদা কম হইতে দেখা যায়।

Examples: একটি কোষের তড়িচ্চালক বল 2 ভোল্ট কিন্তু উহার সহিত 10 ওহম্‌-এর একটি রোধক যুক্ত করিলে, কোষের পাত দুইটির বিভব-প্রভেদ দাঁড়ায় 1·6 ভোল্ট, কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ এবং নষ্ট ভোল্ট নির্ণয় কর।

উ। ধর, প্রবাহমাত্রা I; কাজেই, $I=\frac{1.6}{10}=0{\cdot}16$ অ্যাম্পীয়ার

এখন, আমরা জানি, $r=\frac{E-V}{I}$

এক্ষেত্রে $E=2$ ভোল্ট, $V=1{\cdot}6$ ভোল্ট এবং $I=0{\cdot}16$ অ্যাম্পীয়ার,

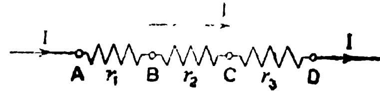
সুতরাং $r=\frac{2-1{\cdot}6}{0{\cdot}16}=\frac{0{\cdot}4}{0{\cdot}16}=2{\cdot}5$ ওহম্‌।

এবং নষ্ট ভোল্ট$=I.r=0{\cdot}16\times2{\cdot}5=0{\cdot}4$ volt

2·10 রোধকের সমবায় (Combination of resistors) **:** বিভিন্ন কার্যের জন্য অনেক সময় কতকগুলি রোধক একত্রে ব্যবহার করা প্রয়োজন হয়। ইহাকে রোধকের সমবায় বলে। সংযুক্ত রোধকগুলি একত্রে একটি রোধক গঠন করে। যদি এমন একটি রোধক পাওয়া যায় যাহাকে উক্ত সমবায়ের পরিবর্তে ব্যবহার করিলে বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা ব বিভব-প্রভেদ অপরিবর্তিত থাকে তবে ঐ রোধককে সমবায়ের **তুল্যাঙ্ক রোধক** (equivalent resistor) বলে। সমবায় প্রধানত দুই প্রকার। (i) **শ্রেণী সমবায়** (series combination) ও **সমান্তরাল সমবায়** (Parallel combination)

(i) **শ্রেণী সমবায়** (Series combination) **:** যদি কতকগুলি রোধককে পরপর একটির শেষ প্রান্ত এবং পরেরটির প্রথম প্রান্ত যুক্ত করা হয় যাহাতে একই প্রবাহ-মাত্রা সকল রোধকের মধ্য দিয়া যায় তবে ঐ সমবায়কে শ্রেণী সমবায় বলে।

2.4 নং চিত্রে r_1, r_2, r_3 রোধের তিনটি রোধক শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হইয়াছে। r_1 রোধের শেষপ্রান্ত r_2 রোধের প্রথম প্রান্তের সহিত—আবার r_2 রোধের শেষ প্রান্ত r_3 রোধের প্রথম প্রান্তের সহিত এইভাবে যুক্ত করা আছে যাহাতে একই প্রবাহ মাত্রা I প্রত্যেকের ভিতর দিয়া চলে। নিম্নলিখিত উপায়ে এই সমবায়ের তুল্যাঙ্ক রোধ নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 2·4

ধরা যাউক, A,B,C, প্রভৃতি বিন্দুতে বিভব যথাক্রমে V_A, V_B, ও V_C ইত্যাদি। সুতরাং A ও B বিন্দুর কথা বিবেচনা করিলে ওহমের সূত্রানুযায়ী

$$V_A - V_B = I.r_1$$

তেমনি $$V_B - V_C = I.r_2$$

এবং $$V_C - V_D = I.r_3$$

যোগ করিলে, $$V_A - V_D = I(r_1 + r_2 + r_3)$$

যদি তুল্যাঙ্ক রোধকের রোধ 'R' হয় তবে উহাকে A ও D বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বসাইলে তড়িৎ-প্রবাহ অপরিবর্তিত থাকিবে। সুতরাং তুল্যাঙ্ক রোধকের বেলায়,

$$V_A - V_D = I.R.$$

কাজেই, $I.\ R = I(r_1 + r_2 + r_3) \quad \therefore \quad R = r_1 + r_2 + r_3$

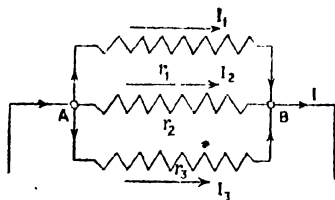
রোধকের সংখ্যা যদি অনেকগুলি হয় তবে সাধারণভাবে লেখা যাইতে পারে

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \ldots.$$

অর্থাৎ, রোধগুলি যোগ করিলে সমবায়ের তুল্যাঙ্ক রোধ পাওয়া যায়।

(ii) **সমান্তরাল সমবায়** (parallel combination) **:** যদি বিভিন্ন রোধক-গুলির এক প্রান্ত কোন এক বিন্দুতে এবং অপর প্রান্তগুলি অন্য এক বিন্দুতে সংযুক্ত হয় যাহাতে মূল তড়িৎপ্রবাহ রোধকগুলির মধ্যে বিভক্ত হইয়া পড়ে, তবে ঐ সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলে।

2·5 নং চিত্রে r_1 r_2 r_3 রোধের তিনটি রোধক সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত করা হইয়াছে। উহাদের একপ্রান্ত A বিন্দুতে ও অপর প্রান্ত B বিন্দুতে যুক্ত। মূল প্রবাহ I, A বিন্দুতে পৌঁছিয়া I_1, I_2, I_3-তে বিভক্ত হইয়া যথাক্রমে r_1, r_2, r_3 রোধকগুলির ভিতর দিয়া B বিন্দুতে পৌঁছায় এবং পুনরায় মিলিত হইয়া মূলপ্রবাহ I উৎপন্ন করে। নিম্নলিখিত উপায়ে এই সমবায়ের তুল্যাঙ্ক রোধ নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 2·5

মনে কর, A ও B বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B, প্রত্যেক রোধকের প্রান্তদ্বয় A ও B বিন্দুতে সংযুক্ত বলিয়া প্রত্যেক রোধকের বিভব-প্রভেদ (V_A-V_B) হইবে। সুতরাং ওহমের সূত্রানুযায়ী $I_1=\dfrac{V_A-V_B}{r_1}$ $\quad I_2=\dfrac{V_A-V_B}{r_2}$; $\quad I_3=\dfrac{V_A-V_B}{r_3}$

যোগ করিলে $I_1+I_2+I_3=I=(V_A-V_B)\left(\dfrac{1}{r_1}+\dfrac{1}{r_2}+\dfrac{1}{r_3}\right)$

যদি তুল্যাঙ্ক রোধকের রোধ R হয় তবে উহাকে A ও B বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বসাইলে তড়িৎপ্রবাহ অপরিবর্তিত থাকিবে। অতএব তুল্যাঙ্ক রোধের বেলাতে

$$I=\frac{V_A-V_B}{R}$$

$$\therefore \frac{V_A-V_B}{R}=(V_A-V_B)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\right)$$

অথবা $\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{r_1}+\dfrac{1}{r_2}+\dfrac{1}{r_3}$

অনেকগুলি রোধকের বেলায় সাধারণভাবে লেখা যাইতে পারে,

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}+\frac{1}{r_4}+\cdots$$

অর্থাৎ, প্রত্যেকটি রোধের বিপরীত (reciprocal) মান যোগ করিলে তুল্যাঙ্ক রোধের বিপরীত মান পাওয়া যায়।

এখন, দুইটি রোধক r_1 এবং r_2 সমান্তরাল সমবায়ে থাকিলে এবং R উহাদের তুল্যাঙ্ক রোধ হইলে, $\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{r_1}+\dfrac{1}{r_2}=\dfrac{r_1+r_2}{r_1r_2}$ $\quad$ or, $R=\dfrac{r_1r_2}{r_1+r_2}$

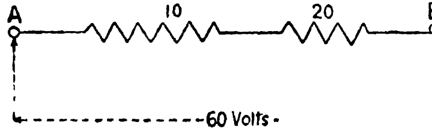
$$\text{অর্থাৎ তুল্যাঙ্ক রোধ}=\frac{\text{রোধ দুইটির গুণফল}}{\text{রোধ দুইটির যোগফল}}$$

এই সূত্র পরে অনেক জায়গায় প্রযুক্ত হইবে।

Examples (1) 10 ওহ্‌ম্ এবং 20 ওহ্‌ম্-এর দুই রোধক শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত। সমবায়ের প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ 60 ভোল্ট হইলে, প্রত্যেক রোধকের প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ ও 10 ওহ্‌ম্ রোধকের প্রবাহ মাত্রা নির্ণয় কর।

উ। A ও B প্রান্তের মোট রোধ $=(10+20)$ ওহ্‌ম্ $=30$ ওহ্‌ম্

সুতরাং ওহ্‌মের সূত্রানুযায়ী প্রত্যেক রোধকের প্রবাহ-মাত্রা $I=\frac{60}{30}=2$ অ্যাম্পীয়ার



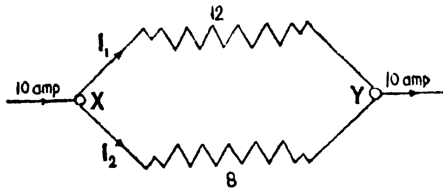
চিত্র 2·6

কাজেই 10 ওহ্‌ম্ রোধকের বিভব-প্রভেদ $=10\times2=\underline{20}$ ভোল্ট

20 ,, ,, ,, $=20\times2=\underline{40}$ ভোল্ট

(2) দুইটি বিন্দু X এবং Y-এর ভিতর 12 ওহ্‌ম্ এবং 8 ওহ্‌ম্-এর দুইটি রোধক সমান্তরাল যুক্ত আছে। বর্তনীর মূলপ্রবাহ 10 অ্যাম্পীয়ার; প্রত্যেক রোধকের প্রবাহমাত্রা এবং X এবং Y বিন্দুদ্বয়ের বিভব প্রভেদ নির্ণয় কর।

উ। যদি রোধক দুইটির পরিবর্তে উহাদের তুল্যাঙ্ক-রোধক R বসানো হয় তবে R-রোধক দিয়া 10 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ যাইবে। সুতরাং X ও Y বিন্দুদ্বয়ের বিভব-প্রভেদ $=I.R=10\times R$. (চিত্র 2·7)



চিত্র 2·7

এখন আমরা জানি, $\frac{1}{R}=\frac{1}{12}+\frac{1}{8}=\frac{5}{24}$ $\qquad R=\frac{24}{5}$ ওহ্‌ম্

সুতরাং X ও Y বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভব-প্রভেদ $V=10\times\frac{24}{5}=\underline{48}$ ভোল্ট।

12 ওহ্‌ম্ রোধকের মধ্য দিয়া প্রবাহ-মাত্রা $I_1=\frac{V}{r_1}=\frac{48}{12}=\underline{4}$ অ্যাম্পীয়ার

সুতরাং 8 ওহ্‌ম্ রোধকের প্রবাহ-মাত্রা $=10-4=\underline{6}$ অ্যাম্পীয়ার।

(3) 1 সে. মি. ব্যাসের একটি ইস্পাতের তারে সমভাবে তামার প্রলেপ লাগাইলে উহার বৈদ্যুতিক রোধ হ্রাস পাইয়া $\frac{1}{2}$ হয়। তামার প্রলেপের বেধ কত? তামার রোধাঙ্ক $=1{\cdot}8\times10^{-6}$ ওহ্‌ম্-সে. মি. এবং ইস্পাতের রোধাঙ্ক $=1{\cdot}98\times10^{-5}$ ওহ্‌ম্-সে. মি.।

উ। এক্ষেত্রে, ইস্পাতের তারের রোধ এবং তামার প্রলেপের রোধ পরস্পরের সহিত সমান্তরাল সমবায়ে আছে। যদি ইস্পাতের তারের রোধ R এবং প্রলেপের রোধ x ধরা যায় তবে প্রশ্নানুযায়ী,

$$\frac{3}{R}=\frac{1}{R}+\frac{1}{x} \quad \therefore \frac{1}{x}=\frac{2}{R} \quad \text{or} \quad x=\frac{R}{2} \quad \ldots (1)$$

এখন আমরা জানি, $R=\rho\times\frac{l}{A}$

ইস্পাতের তারের বেলাতে, $R=\frac{1\cdot98\times10^{-5}\times l}{\pi(0\cdot5)^2}$

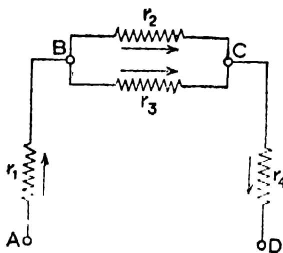
এবং প্রলেপের বেলাতে, $x=\frac{1\cdot8\times10^{-6}\times l}{2\pi(0\cdot5)\times d}$ [d=প্রলেপের বেধ]

$\therefore$ (1) নং সমীকরণ হইতে, $\frac{R}{2}=x$

অথবা, $$\frac{1\cdot98\times10^{-5}\times l}{2\pi(0\cdot5)^2}=\frac{1\cdot8\times10^{-6}\times l}{2\pi(0\cdot5)\times d}$$

or, $d=\frac{1\cdot8\times0\cdot5}{1\cdot98\times10}=0\cdot043$ সে. মি. (প্রায়)।

(iii) **মিশ্র বর্তনীয় তুল্যাঙ্ক রোধ** (Equivalent resistance of a mixed circuit) : অনেক সময় বর্তনীর রোধগুলি শ্রেণী বা সমান্তরাল সমবায়ে না থাকিয়া মিশ্র সমবায়ে থাকে। 2·8 নং চিত্রে ঐরূপ একটি মিশ্র সমবায় দেখানো হইয়াছে। ABCD মিশ্র বর্তনীর মধ্যে A এবং B বিন্দুর ভিতরে r_1 রোধ; B এবং C বিন্দুর ভিতরে r_2 ও r_3 রোধ সমান্তরাল সমবায়ে; C ও D বিন্দুর ভিতর r_4 রোধ যুক্ত আছে। A বিন্দু দিয়া তড়িৎপ্রবাহ বর্তনীতে প্রবেশ করিলে উহার গতিপথ কিরূপ হইবে তাহা ছবিতে দেখানো হইয়াছে।



চিত্র 2·8

বর্তনীকে বিশ্লেষণ করিয়া বলা যাইতে পারে উহা তিনটি রোধের শ্রেণী সমবায়ে গঠিত হইয়াছে। এই তিনটি রোধ হইতেছে :—

(i) r_1 (ii) r_4 এবং (iii) r_2 এবং r_3 রোধের তুল্যাঙ্ক রোধ।

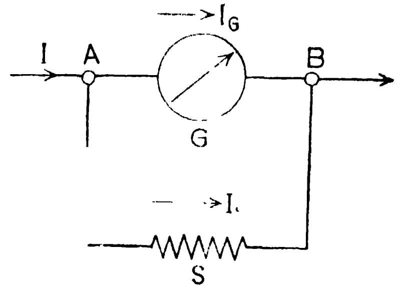
এখন, r_2 এবং r_3 রোধের তুল্যাঙ্ক রোধ $=\frac{\text{রোধ দুইটির গুণফল}}{\text{,, ,, যোগফল}}=\frac{r_2\times r_3}{r_2+r_3}$

সুতরাং মিশ্র বর্তনীর মোট তুল্যাঙ্ক রোধ $=r_1+r_4+\frac{r_2\times r_3}{r_2+r_3}$

এইরূপে যে-কোন মিশ্র বর্তনীর মোট তুল্যাঙ্ক রোধ নির্ণয় করা যাইতে পারে।

2·11 সান্ট বা বিকল্প পথ (Shunt) : অনেক সময় তড়িৎ-বর্তনীতে গ্যালভ্যানোমিটার প্রভৃতি সূক্ষ্ম ও সুবেদী যন্ত্র ব্যবহার করিতে হয়। উহাদের ভিতর প্রবল তড়িৎ-প্রবাহ পাঠানো উচিত নয়; কারণ, উহাতে যন্ত্রটি ক্ষতিগ্রস্ত—এমন কি নষ্ট হইয়া যাইতে পারে। সেই জন্য ঐ সমস্ত যন্ত্রকে বিপদ-মুক্ত করিবার জন্য উহার সহিত একটি বিকল্প পথের ব্যবস্থা করা হয় যাহাতে মূল তড়িৎ-প্রবাহের সামান্য অংশ ঐ যন্ত্রের ভিতর দিয়া যাইবে এবং বাকী অংশ বিকল্প পথ দিয়া প্রবাহিত হইবে। এই বিকল্প পথকে **সান্ট** বলে। ইহা আর কিছুই নয়—একটি নিম্ন-মানের (low value) রোধক যাহা ঐ যন্ত্রের সহিত সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত থাকে।

2·9 নং চিত্রে এই সান্ট ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। G হইতেছে গ্যালভ্যানোমিটার এবং S একটি নিম্নমানের রোধক গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। ইহাই সান্ট।



চিত্র 2·9

যদি বর্তনীর মূল প্রবাহ I হয় তবে ঐ প্রবাহ A বিন্দুতে পৌঁছিয়া দুইটি পথ পাইবে—একটি গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া এবং অপরটি সান্টের ভিতর দিয়া। গ্যালভ্যানোমিটারের তুলনায় সান্টের রোধ অনেক কম হওয়ায় বেশীর ভাগ প্রবাহ এই বিকল্প পথে যাইবে এবং সামান্য অংশ গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া যাইবে। ইহাতে যন্ত্রটি ক্ষতিগ্রস্ত হইবার ভয় থাকে না। তাছাড়া সান্টের রোধ নিয়ন্ত্রিত করিয়া আমরা ইচ্ছামত প্রবাহ গ্যালভ্যানোমিটার পথে পাঠাইতে পারি। কোন্ পথে কতটা প্রবাহ যাইবে তাহা নিম্ন লিখিত উপায়ে নির্ণয় করা যায়।

মনে কর, মূল প্রবাহ-মাত্রা $=I$

গ্যালভ্যানোমিটার পথে প্রবাহ-মাত্রা $=I_G$

সান্ট „ „ $=I_S$

এবং গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ $=G$ এবং সান্ট রোধ $=S$

এখন, $I=I_G+I_S$

তাছাড়া, A এবং B বিন্দুদ্বয়ের বিভব প্রভেদ (V_A-V_B) হইলে গ্যালভ্যানোমিটার পথের কথা বিবেচনা করিয়া লিখিতে পারা যায়, $V_A-V_B=I_G.G.$

যেহেতু সান্টের দুই প্রান্তও A ও B বিন্দুতে যুক্ত, কাজেই $V_A-V_B=I_S.S.$

$$\therefore\ I_G.G=I_S.S \text{ অথবা } \frac{I_G}{I_S}=\frac{S}{G} \text{ অথবা } \frac{I_G+I_S}{I_S}=\frac{S+G}{G}$$

$$\text{অর্থাৎ } \frac{I}{I_S}=\frac{S+G}{G} \text{ কাজেই, } I_S=\frac{G}{S+G}.\,I$$

$$\text{এবং } I_G=I-I_S=I\left(1-\frac{G}{G+S}\right)=\frac{S}{G+S}.\,I$$

Examples. (1) 240 ওহম রোধের একটি গ্যালভ্যানোমিটারে 10 ওহম রোধের একটি সান্ট যুক্ত আছে। মূল প্রবাহ 5 অ্যাম্পীয়ার হইলে গ্যালভ্যানোমিটার এবং সাণ্টে প্রবাহ মাত্রা কত?

উ। এস্থলে $G=240$ ওহম্ ; $S=10$ ওহম্ এবং $I=5$ অ্যাম্পীয়ার

আমরা জানি $I_G=\dfrac{S}{G+S}.I$

কাজেই $I_G=\dfrac{10}{240+10}\times 5=\dfrac{50}{250}=0{\cdot}2$ অ্যাম্পীয়ার

অতএব, $I_S=5-{\cdot}2=4{\cdot}8$ অ্যাম্পীয়ার।

(2) কোন গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ 199 ওহম ; কত সান্ট যুক্ত করিলে, মূল প্রবাহের $\frac{1}{200}$ অংশ গ্যালভ্যানোমিটারে যাইবে?

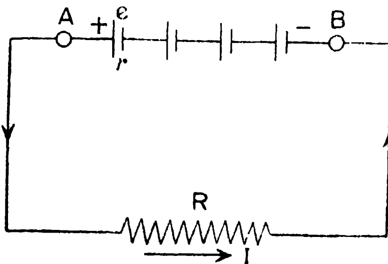
উ। আমরা জানি $I_G=\dfrac{S}{S+G}I$; এক্ষেত্রে $I_G=\dfrac{I}{200}$ এবং $G=199$ ওহ্ম

কাজেই $\dfrac{I}{200}=\dfrac{S}{S+199}\times I$

অথবা, $S+199=200S$ বা, $199S=199$ or, $S=1$ ওহম্

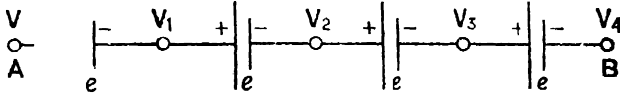
2·12 **কোষের সমবায়ঃ** (Combination of cells) ঃ অনেক সময় বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ বা বিভবপ্রভেদ বাড়াইবার জন্য কয়েকটি কোষের সমবায় করিতে হয়। কোষের সমবায় তিনপ্রকার হইতে পারে। যথাঃ— (i) **শ্রেণী সমবায়** (series combination), (2) **সমান্তরাল সমবায়** (parallel combination) এবং (3) যুক্ত বা **মিশ্র সমবায়** (mixed combination)। নিম্নে এই তিনপ্রকার সমবায়ের কথা আলোচনা করা হইল।

(1) **শ্রেণী সমবায়ঃ** যখন কোষগুলি পরপর এমনভাবে সংযুক্ত থাকে যে প্রথমটির ঋণাত্মক মেরু (negative pole) দ্বিতীয়টির ধনাত্মক মেরুর (positive pole) সহিত যুক্ত—আবার দ্বিতীয়টির ঋণাত্মক মেরু তৃতীয়টির ধনাত্মক মেরুর সহিত যুক্ত ইত্যাদি—তখন বলা হয় যে কোষগুলি শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত। 2·10 নং চিত্রে চারিটি কোষের শ্রেণী সমবায় দেখান হইয়াছে। প্রথম কোষের ধনাত্মক মেরু এবং চতুর্থ বা শেষ কোষের ঋণাত্মক মেরু সমগ্র ব্যাটারীর দুই মেরু গঠন করে। উহাদের সহিত একটি রোধক R যুক্ত আছে। এই বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা নির্ণয় করিতে হইবে।



চিত্র 2·10

মনে কর, প্রত্যেক কোষের তড়িচ্চালক বল 'e' এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 'r'; 2·11 নং চিত্র হইতে আমরা বুঝিতে পারি,



2·11

$$V-V_1=e \quad \text{(প্রথম কোষের বেলাতে)}$$
$$V_1-V_2=e \quad \text{(দ্বিতীয় ,, ,,)}$$
$$V_2-V_3=e \quad \text{(তৃতীয় ,, ,,)}$$
$$(V_3-V_4)=e \quad \text{(চতুর্থ ,, ,,)}$$

যোগ করিলে, $(V-V_4)=4e$

কিন্তু $(V-V_4)$ সমগ্র ব্যাটারীর বিভব-প্রভেদ; কাজেই সমগ্র ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল $=4e$; যদি ঐরূপ 'n' কোষ থাকে তবে মোট তড়িচ্চালক বল $=ne$.

আবার, প্রত্যেক কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ 'r'; কোষগুলি শ্রেণী সমবায়ে থাকায় আমরা মনে করিতে পারি 'r' রোধগুলিও শ্রেণী সমবায়ে আছে। 'n' কোষের ক্ষেত্রে উহাদের মোট আভ্যন্তরীণ রোধ $=nr$. সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ$=nr+R$

কাজেই, বহির্বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা $I=\dfrac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}}=\dfrac{ne}{nr+R}$

আলোচনা (Discussion) :

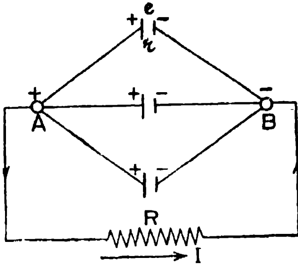
(a) যখন $R>>nr$, তখন আমরা লিখিতে পারি $I=\dfrac{ne}{R}$ অর্থাৎ, বহির্বর্তনীতে যে প্রবাহ-মাত্রা হইবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহ-মাত্রার 'n' গুণ, কারণ, $\dfrac{e}{R}$ হইল একটি কোষের প্রবাহ-মাত্রা।

(b) কিন্তু যখন $nr>>R$. তখন আমরা লিখিতে পারি $I=\dfrac{ne}{nr}=\dfrac{e}{r}$ অর্থাৎ, বহির্বর্তনীতে যে প্রবাহ-মাত্রা হইবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহ-মাত্রার সমান।

কাজেই বোঝা যাইতেছে যখন বহির্বর্তনীর রোধ কোষের মোট আভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষা খুব বেশী তখন শ্রেণী সমবায়ের ফলে প্রবাহ-মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(2) **সমান্তরাল সমবায়** : যখন কোষগুলির সব ধনাত্মক মেরু এক জায়গায় এবং সব ঋণাত্মক মেরুগুলি অন্য এক জায়গায় যুক্ত করা হয় তখন বলা হয় যে কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। 2·12 নং চিত্রে তিনটি কোষের সমান্তরাল সমবায় দেখানো হইয়াছে।

A বিন্দু হইল ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরু এবং B বিন্দু হইল ঋণাত্মক মেরু। উহাদের সহিত একটি রোধক R যুক্ত আছে। এই বহির্বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করিতে হইবে।



চিত্র 2·12

যেহেতু সব কোষের ধনাত্মক মেরু A বিন্দুতে এবং ঋণাত্মক মেরু B বিন্দুতে যুক্ত, কাজেই ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল যে কোন একটি কোষের তড়িচ্চালক বলের সমান। অর্থাৎ, ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল $=e$. আবার, কোষগুলির আভ্যন্তরীণ রোধের হিসাব করিলে, যেহেতু কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে আছে, সেইহেতু রোধগুলিও সমান্তরাল সমবায়ে আছে। উপরোক্ত তিনটি কোষের বেলাতে মোট রোধ হইবে $\frac{r}{3}$-এর সমান। যদি তিনটির পরিবর্তে 'n' সংখ্যক কোষ থাকে, তবে উহাদের মোট আভ্যন্তরীণ রোধ $=\frac{r}{n}$; সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ $=R+\frac{r}{n}$.

কাজেই বহির্বর্তনীর প্রবাহ মাত্রা $I=\frac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}}=\frac{e}{R+\frac{r}{n}}=\frac{ne}{nR+r}$

আলোচনা (Discussion) :

(*a*) যখন $nR>>r$. তখন আমরা লিখিতে পারি $I=\frac{ne}{nR}=\frac{e}{R}$ অর্থাৎ, বহির্বর্তনীতে যে-প্রবাহ মাত্রা হইবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহ-মাত্রার সমান।

(*b*) যখন $r>>nR$, তখন আমরা লিখিতে পারি, $I=\frac{ne}{r}$ অর্থাৎ, বহির্বর্তনীতে যে প্রবাহ-মাত্রা হইবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহ-মাত্রার 'n' গুণ।

কাজেই বোঝা যাইতেছে, **যখন কোষগুলির আভ্যন্তরীণ রোধ বহির্বর্তনীর রোধ অপেক্ষা খুব বেশী তখন সমান্তরাল সমবায়ের ফলে প্রবাহ-মাত্রা বৃদ্ধি পায়।**

সমান্তরাল সমবায়ের একটি মস্ত সুবিধা এই যে বহির্বর্তনীতে প্রবাহ পাঠাইবার জন্য কোন একটি কোষের উপর অযথা চাপ পড়ে না, কারণ, মূলপ্রবাহ সব কোষগুলিই সমভাবে বন্টন করিয়া লয়। কিন্তু শ্রেণী সমবায়ের বেলাতে তাহা হয় না; সব কয়টি কোষের ভিতর দিয়াই মূলপ্রবাহ চলিয়া যায়। কোষগুলিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিয়া অকেজোভাবে ফেলিয়া রাখা উচিত নয়; কারণ, কোন একটি কোষের তড়িচ্চালক বল অন্য কোষ অপেক্ষা বেশী হইলে সমগ্র ব্যাটারীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ হইবে। ইহাতে কোষগুলি শীঘ্রই নিঃশেষ হইয়া যাইতে পারে। শ্রেণী সমবায়ে এই ভয়ের কোন কারণ নাই।

Example 5. প্রতিটি 1·5 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 3 ওহ্ম্ আভ্যন্তরীণ রোধসহ পাঁচটি কোষ শ্রেণী সমবায়ে 10 ওহ্ম-এর একটি রোধকের সহিত যুক্ত। বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা নির্ণয় কর। যদি কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত থাকিত, তবে বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রার কি পরিবর্তন হইত?

উ। শ্রেণী সমবায়ে পাঁচটি কোষের মোট তড়িচ্চালক বল $=5\times1{\cdot}5=7{\cdot}5$ ভোল্ট

" " " " আভ্যন্তরীণ রোধ $=5\times3=15$ ওহ্ম

বর্তনীর মোট রোধ $=15+10=25$ ওহ্ম

$$\therefore \text{ বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা} = \frac{7{\cdot}5}{25} = 0{\cdot}3 \text{ অ্যাম্পীয়ার}$$

কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে থাকিলে, উহাদের মোট তড়িচ্চালক বল যে কোন একটি কোষের তড়িচ্চালক বলের সমান। অর্থাৎ, বর্তনীর তড়িচ্চালক বল $=1{\cdot}5$ ভোল্ট। কোষগুলির মোট রোধ R ধরিলে,

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{3}+\frac{1}{3}+\frac{1}{3}+\frac{1}{3}+\frac{1}{3}=\frac{5}{3} \qquad R=\frac{3}{5}=0{\cdot}6 \text{ ওহ্ম}$$

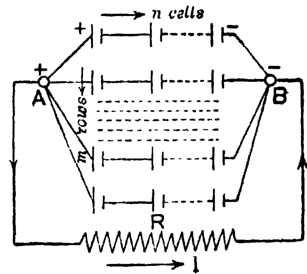
অতএব, বর্তনীর মোট রোধ $=10+0{\cdot}6=10{\cdot}6$ ওহ্ম

$$\therefore \text{ বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা} = \frac{1{\cdot}5}{10{\cdot}6} = 0{\cdot}14 \text{ অ্যাম্পীয়ার।}$$

সুতরাং বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা $(0{\cdot}3-0{\cdot}14)=0{\cdot}16$ অ্যাম্পীয়ার কমিয়া যাইবে।

(3) **যুক্ত বা মিশ্র সমবায়ঃ** কতকগুলি কোষকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিয়া একটি পংক্তি (row) করিয়া, ঐরূপ কতকগুলি পংক্তিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিলে কোষের মিশ্র সমবায় গঠিত হয়।

2·13 নং চিত্রে ঐরূপ সমবায় দেখানো হইয়াছে। ঐ মিশ্র সমবায়ে 'n' সংখ্যক কোষকে শ্রেণী সমবায়ে রাখিয়া একটি পংক্তি করা হইয়াছে এবং ঐরূপ 'm' সংখ্যক পংক্তিকে সমান্তরাল সমবায়ে রাখিয়া সমগ্র ব্যাটারী গঠিত হইয়াছে। A বিন্দু সমগ্র ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরু এবং B বিন্দু ঋণাত্মক মেরু। উহাদের মধ্যে একটি রোধক R যুক্ত আছে। এই বহির্বর্তনীর প্রবাহ মাত্রা নির্ণয় করিতে হইবে।



চিত্র 2·13

মনে কর, প্রত্যেক কোষ একই ধরনের এবং উহাদের যে-কোন একটির তড়িচ্চালক বল 'e' এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 'r', 2·13 নং চিত্র হইতে সহজে বোঝা যায় যে প্রত্যেক পংক্তিকে ne তড়িচ্চালক বল ও nr আভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত একটি কোষ বলিয়া বলিয়া মনে করা যাইতে পারে। সেক্ষেত্রে ঐরূপ 'm' সংখ্যক কোষ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে।

এখন সমান্তরাল সমবায়ের নিয়ম হইতে আমরা বলিতে পারি সমগ্র ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল হইল যে-কোন পংক্তির মোট তড়িচ্চালক বলের সমান—অর্থাৎ, ne এবং মোট আভ্যন্তরীণ রোধ $= \frac{nr}{m}$

[মোট আভ্যন্তরীণ রোধ R' ধরিলে $\frac{1}{R'} = \frac{1}{nr} + \frac{1}{nr} + m$ সংখ্যা $= \frac{m}{nr}$

কাজেই $R' = \frac{nr}{m}$]

সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ $= R + \frac{nr}{m}$

কাজেই, বহির্বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা $I = \dfrac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}}$

$$= \frac{ne}{R+\frac{nr}{m}} = \frac{mne}{mR+nr}$$

সর্বোচ্চ প্রবাহের জন্য প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা (Arrangement for maximum current) ঃ প্রশ্ন হইল যে মিশ্র সমবায়ে কোষগুলিকে কিরূপে সাজাইলে বহির্বর্তনীতে প্রবাহ-মাত্রা সর্বোচ্চ হইবে?

আমরা দেখিলাম যে মিশ্র সমবায়ে

$$I = \frac{mne}{mR+nr} = \frac{mne}{(\sqrt{mR}-\sqrt{nr})^2+2\sqrt{mnRr}}$$

এখন I সর্বোচ্চ হইতে গেলে উপরোক্ত ভগ্নাংশের হরকে (denominator) ন্যূনতম হইতে হইবে। কিন্তু উহার দ্বিতীয় অংশ অর্থাৎ $2\sqrt{mnRr}$ ধ্রুবক, কারণ, R এবং r প্রত্যেকটি ধ্রুবক; আবার $m \times n =$ ধ্রুবক। কাজেই প্রথম অংশকে ন্যূনতম হইতে হইবে। অর্থাৎ,

$$(\sqrt{mR}-\sqrt{nr})=0 \quad \text{or,} \quad \sqrt{mR}-\sqrt{nr}=0$$

$$\text{or,} \quad \sqrt{mR}=\sqrt{nr} \quad \text{or,} \quad mR=nr$$

$$\text{or,} \quad R=\frac{n}{m}.r$$

অর্থাৎ, বহির্বর্তনীতে রোধ R সমগ্র ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ $\frac{nr}{m}$-এর সমান হইলে বহির্বর্তনীতে প্রবাহ-মাত্রা সর্বোচ্চ হইবে। বহির্বর্তনীতে সর্বোচ্চ প্রবাহের মান হইবে $I_{max} = \frac{ne}{2R}$ অথবা $\frac{me}{2r}$.

Examples ঃ তোমাকে 24টি একই ধরনের কোষ দেওয়া হইল। উহাদের প্রত্যেকের তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 4 ওহম্। উহাদের কিরূপে একটি মিশ্র

সমবায়ে যুক্ত করিবে যাহাতে 6 ওহ্ম্-এর একটি রোধকের ভিতর দিয়া উহা সর্বোচ্চ প্রবাহ পাঠাইতে পারে?

উ। ধর, প্রত্যেক পংক্তিতে n সংখ্যক কোষ রাখা হইল এবং ঐরূপ 'm' সংখ্যক পংক্তি করা হইল। কাজেই $m \times n$ = মোট কোষ-সংখ্যা $= 24 \ldots .$(i)

আবার, সর্বোচ্চ প্রবাহের শর্ত হইতে জানি, $R = \frac{n}{m} \times r$

এক্ষেত্রে $R = 6$ ওহ্ম্ এবং $r = 4$ ওহ্ম্; কাজেই $6 = \frac{n}{m} \times 4 \ldots .$(ii)

(i) এবং (ii) সমীকরণ গুণ করিলে, $n^2 = 24 \times \frac{6}{4} = 36$

$\therefore \quad \underline{n = 6}$ কাজেই, $\underline{m = 4}$

অর্থাৎ, 4টি পংক্তি করিতে হইবে ও প্রত্যেক পংক্তিতে 6টি কোষ শ্রেণী সমবায়ে রাখিতে হইবে।

Miscellaneous examples (1) শ্রেণী সমবায়ে আবদ্ধ 100টি কোষের সহিত 50 ওহ্ম্ রোধের দুইটি বাতি শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত আছে। প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 1 ওহ্ম্ হইলে বাতির ভিতর দিয়া কত প্রবাহ যাইবে?

[H. S. Exam. 1960]

উ। যেহেতু বাতি দুইটি শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত, সেইহেতু একই প্রবাহমাত্রা দুইটি বাতিতেই থাকিবে। এখন, বাতি দুইটির মোট রোধ $= 50 + 50 = 100$ ওহ্ম্

কোষগুলি শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত হওয়ায়, উহাদের মোট আভ্যন্তরীণ রোধ $= 100 \times 1 = 100$ ওহ্ম্। সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ $= 100 + 100 = 200$ ওহ্ম্

আবার বর্তনীর মোট বিভব-প্রভেদ $= 100 \times 1{\cdot}5 = 150$ ভোল্ট

সুতরাং প্রবাহ-মাত্রা $= \frac{\text{মোট বিভব-প্রভেদ}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{150}{200} = 0{\cdot}75$ অ্যাম্পীয়ার

অতএব প্রত্যেক বাতির প্রবাহ-মাত্রা $= \underline{0{\cdot}75 \text{ অ্যাম্পীয়ার}}$।

(2) শ্রেণীর সমবায়ে আবদ্ধ 4টি কোষের সহিত 20 ওহ্ম্ রোধের একটি তার যুক্ত আছে। প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 1·2 ওহ্ম্ হইলে, তারের প্রবাহ-মাত্রা নির্ণয় কর। *[H. S. (Comp). 1960]*

উ। শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত বলিয়া 4টি কোষের মোট আভ্যন্তরীণ রোধ $= 4 \times 1{\cdot}2 = 4{\cdot}8$ ওহ্ম্; অতএব বর্তনীর মোট রোধ $= 4{\cdot}8 + 20 = 24{\cdot}8$ ওহ্ম্।

ব্যাটারীর মোট তড়িচ্চালক বল $= 4 \times 1{\cdot}5 = 6$ ভোল্ট

$\therefore$ বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা $= \frac{6}{24{\cdot}8} = 0{\cdot}245$ অ্যাম্পীয়ার (প্রায়)

সতরাং তারের প্রবাহ-মাত্রা $= \underline{0{\cdot}245 \text{ অ্যাম্পীয়ার}}$।

(3) 1 কিলোগ্রাম তামা-কে টানিয়া (*a*) 1 মি.মি. ব্যাসের ,(*b*) 2 মি.মি. ব্যাসের তারে পরিণত করা হইল। একই তাপমাত্রায় উহাদের রোধ তুলনা কর। *[H. S. (Comp). 1960]*

উ। কোন তারের রোধ R, দৈর্ঘ্য l, রোধাঙ্ক ρ এবং ব্যাস d হইলে আমরা লিখিতে পারি.

$$R=\rho.\frac{l}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}=\rho\times\frac{4l}{\pi d^2}$$

যদি তারটির ভর M এবং ঘনত্ব D হয় তবে,

আয়তন × ঘনত্ব = ভর or, $\frac{\pi d^2}{4}\times l\times D=M$ $\qquad\therefore\ l=\frac{4M}{D\pi d^2}$

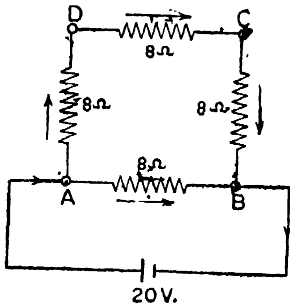
কাজেই, $R=\frac{4\rho}{\pi d^2}\times\frac{4M}{D\pi d^2}=\frac{16M\rho}{(\pi)^2.D\,(d)^4}$

অর্থাৎ $R\propto\frac{1}{d^4}$, কারণ, অন্য সকল রাশিগুলি এক্ষেত্রে অপরিবর্তিত থাকিতেছে।

যদি তার দুইটির রোধ R_1 এবং R_2 এবং উহাদের ব্যাস যথাক্রমে d_1 এবং d_2 হয় তবে $\frac{R_1}{R_2}=\frac{d_2^4}{d_1^4}$. এক্ষেত্রে $d_1=0{\cdot}1$ সে. মি. এবং $d_2=0{\cdot}2$ সে. মি.

কাজেই, $\frac{R_1}{R_2}=\frac{(0{\cdot}2)^4}{(0{\cdot}1)^4}=16.$ $\qquad\therefore\ R_1 : R_2=16 : 1$

(4) ABCD একটি তারের তৈরী চতুর্ভুজ। প্রতিটি ভুজের রোধ 8 ওহম্। 20 ভোল্ট-এর একটি ব্যাটারীর দুই প্রান্ত A এবং B বিন্দুতে যুক্ত। মূল লাইনের প্রবাহ-মাত্রা নির্ণয় কর।



চিত্র 2·14

উ। 2·14 নং চিত্রে ABCD হইল চারিটি তারের চতুর্ভুজ। A এবং B বিন্দুতে ব্যাটারী যুক্ত। এক্ষেত্রে মূলপ্রবাহ A-বিন্দুতে পৌছিয়া দুইভাগে বিভক্ত হইবে। এক ভাগ AD, DC, CB, হইয়া B বিন্দুতে পৌছাইবে এবং অন্যভাগ AB হইয়া B বিন্দুতে পৌছাইবে এবং পরে একসঙ্গে মিলিত হইয়া কোষে ফিরিয়া আসিবে। তড়িৎপ্রবাহের গতিপথ হইতে আমরা বুঝিতে পারি যে AD, DC এবং CB তারগুলি শ্রেণী সমবায়ে এবং উহাদের সহিত AB তার সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে।

এখন AD, DC এবং CB তারের যুক্ত রোধ $=8+8+8=24$ ওহম্। এইবার আমরা মনে করিতে পারি, ঐ তিনটি রোধের বদলে একটি 24 ওহম রোধ ঐ জায়গায় আছে। সুতরাং উহার এবং AB তারের তুল্যাঙ্ক রোধ R হইলে,

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{24}+\frac{1}{8}=\frac{4}{24}\qquad\therefore\ R=6\text{ ওহম}$$

অর্থাৎ, বর্তনীর মোট তুল্যাঙ্ক-রোধ = 6 ওহ্‌ম্

সুতরাং বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রা $= \frac{20}{6} = 3 \cdot 33$ অ্যাম্পীয়ার।

(5) 1 মিটার দীর্ঘ একটি সুষম তারের দুই প্রান্ত একটি ব্যাটারীর (তড়িচ্চালক বল $= 2 \cdot 1$ ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ $= 1 \cdot 5$ ওহ্‌ম্) সহিত যুক্ত। তারের রোধ 2 ওহ্‌ম্ হইলে, তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে বিভব-পতন নির্ণয় কর। [*H. S. Exam. 1961*]

উ। বর্তনীর মোট রোধ $= 2 + 1 \cdot 5 = 3 \cdot 5$ ওহ্‌ম্

সুতরাং তার দিয়া যে প্রবাহমাত্রা যাইতেছে তাহা I ধরিলে,

$$I = \frac{\text{বর্তনীর মোট বিভব-প্রভেদ}}{\text{,, ,, রোধ}} = \frac{2 \cdot 1}{3 \cdot 5} = 0 \cdot 6 \text{ অ্যাম্পীয়ার}$$

এখন, তারের দুই প্রান্তের বিভব-প্রভেদ = তারের রোধ × প্রবাহ মাত্রা

$$= 2 \times 0 \cdot 6 = 1 \cdot 2 \text{ ভোল্ট}$$

$$\text{সুতরাং তারের একক দৈর্ঘ্য বিভব-পতন} = \frac{\text{তারের বিভব-প্রভেদ}}{\text{তারের দৈর্ঘ্য}}$$

$$= \frac{1 \cdot 2}{100} \text{ ভোল্ট/সে. মি.} = \frac{1 \cdot 2 \times 1000}{100} \text{ মিলিভোল্ট/সে. মি.}$$

$$= 12 \text{ মি.ভোল্ট/সে. মি.}$$

(6) কোন বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত একটি অ্যামমিটার $1 \cdot 3$ অ্যাম্পীয়ার পাঠ দিতেছে। ঐ বর্তনীর দুই বিন্দু A এবং B-এর ভিতর একটি ভোল্টমিটার যোগ করিলে উহা $3 \cdot 9$ ভোল্ট পাঠ দেয়। বর্তনীর ঐ বিন্দুদ্বয়ের ভিতরের অংশের রোধ কত? [*H. S. (Comp) 1961*]

উ। বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত অ্যাম্‌মিটার প্রবাহমাত্রার যে-পাঠ দেয় বর্তনীর সকল অংশ দিয়াই ঐ প্রবাহমাত্রা থাকে। সুতরাং বর্তনীর A হইতে B অংশের মধ্য দিয়া প্রবাহ-মাত্রা $= 1 \cdot 3$ অ্যাম্পীয়ার। ঐ অংশের বিভব-প্রভেদ ভোল্টমিটার পাঠ হইতে পাওয়া যাইবে। ভোল্টমিটার পাঠ $3 \cdot 9$ ভোল্ট হওয়ায়, A এবং B-এর বিভব-প্রভেদ $= 3 \cdot 9$ ভোল্ট।

সুতরাং ওহ্‌ম্ সূত্র হইতে আমরা লিখিতে পারি যে,

$$\text{A এবং B অংশের রোধ} = \frac{\text{A এবং B-এর বিভব-প্রভেদ}}{\text{উহাদের প্রবাহ-মাত্রা}} = \frac{3 \cdot 9}{1 \cdot 3} = 3 \text{ ওহ্‌ম্।}$$

(7) A, B এবং C এই তিনটি কোষের প্রতিটির উন্মুক্ত বর্তনীতে ভোল্টেজ হইল $2 \cdot 2$ ভোল্ট এবং ইহারা এমনভাবে সংযুক্ত যে প্রত্যেকের ধনাত্মক মেরু একসঙ্গে যুক্ত। উহাদের ঋণাত্মক মেরুগুলিও একসঙ্গে যুক্ত। A কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ $0 \cdot 1$ ওহ্‌ম্, B-এর $0 \cdot 2$ ওহ্‌ম্, এবং C-এর $0 \cdot 4$ ওহ্‌ম্। ব্যাটারীর দুই প্রান্তে $2 \cdot 143$ ওহ্‌ম্ রোধের একটি কুণ্ডলী যুক্ত করিলে, উহার ভিতর কত প্রবাহ যাইবে?

উ। উন্মুক্ত বর্তনীতে থাকাকালীন বিভব-প্রভেদকে কোষের তড়িচ্চালক বল বলে। সুতরাং প্রত্যেকটি কোষের তড়িচ্চালক বল $= 2 \cdot 2$ ভোল্ট।

প্রশ্ন হইতে সহজে বোঝা যায় যে কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। সুতরাং সমগ্র ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল যে-কোন একটি কোষের তড়িচ্চালক বলের সমান হইবে। অর্থাৎ সমগ্র ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল $=2\cdot2$ ভোল্ট।

এখন, যেহেতু, কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে আছে, সেইহেতু সমগ্র ব্যাটারীর রোধ R ধরিলে,

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{0\cdot1}+\frac{1}{0\cdot2}+\frac{1}{0\cdot4}=\frac{\;}{0\cdot4}$$

$$\therefore \quad R=\frac{0\cdot4}{7}=\cdot057 \text{ ওহম্}$$

সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ $=2\cdot143+\cdot057=2\cdot2$ ওহম্

$$\therefore \text{ বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা}=\frac{\text{ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল}}{\text{বর্তনীর মোট রোধ}}=\frac{2\cdot2}{2\cdot2}=1 \text{ অ্যাম্পীয়ার}$$

(8) দুইটি সর্বসম কোষ শ্রেণী সমবায়ে আবদ্ধ থাকিয়া 8 ওহম্ এর একটি রোধকের ভিতর $0\cdot25$ অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ পাঠায়। যখন কোষ দুইটি সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ, তখন ঐ একই রোধকের ভিতর $0\cdot16$ অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ চলে। প্রত্যেক কোষের তড়িচ্চালক বল ও আভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

উ। ধর, প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল $=E$ এবং আভ্যন্তরীণ রোধ $=r$. প্রথম ক্ষেত্রে, তড়িচ্চালক বল $=2E$ এবং মোট আভ্যন্তরীণ রোধ $=2r$. কাজেই, ওহম্ সূত্র হইতে লেখা যায়,

$$\frac{2E}{2r+8}=0\cdot25 \;\ldots\; \text{(i)}$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে মোট তড়িচ্চালক বল $=E$ এবং মোট আভ্যন্তরীণ রোধ $=\frac{r}{2}$

কাজেই, ওহম্ সূত্র হইতে লেখা যায়, $\frac{E}{\frac{r}{2}+8}=;0\cdot16 \;\ldots\ldots\text{(ii)}$

(i) সমীকরণ হইতে পাই, $\frac{\;}{r+4}=0\cdot25$ or, $E=0\cdot25\times r+1$

(ii) ,, ,, ,, $E=0\cdot08\times r+1\cdot28$

অতএব, $0\cdot25\times r+1=0\cdot08\times r+1\cdot28$ or, $0\cdot17\times r=0\cdot28$

$$\therefore \quad r=\frac{0\cdot28}{0\cdot17}=1\cdot6 \text{ ওহম্ (প্রায়) এবং } E=0\cdot08\times1\cdot6+1.28$$

$$=1\cdot408 \text{ ভোল্ট}$$

Exercises

1. ওহ্‌মের সূত্র বল এবং ঐ সূত্র হইতে কিরূপে রোধের সংজ্ঞা পাওয়া যায় তাহা বুঝাইয়া বল। [cf H. S. (Comp.) 1960: H. S. Exam. 1962, '64]

2. তড়িৎপ্রবাহ, বিভব-পার্থক্য ও রোধের ব্যবহারিক এককগুলি ব্যাখ্যা কর। কোষের তড়িচ্চালক বল এবং বিভব-পার্থক্যের মধ্যে প্রভেদ কি?

[H. S. Exam. 1960. cf. H. S. Exam. 1963]

3. তুল্যাঙ্ক রোধ কাহাকে বলে? r_1 এবং r_2 দুইটি রোধক সমান্তরালভাবে সংযুক্ত থাকিলে, উহাদের তুল্যাঙ্ক রোধ নির্ণয় কর।

4. দুইটি রোধককে কিরূপে (i) শ্রেণী সমবায়ে এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত করিবে? প্রত্যেক ক্ষেত্রে তুল্যাঙ্ক রোধ নির্ণয় কর। [H. S. Exam. 1960]

5. 1.1 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 1 ওহ্‌ম্ আভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত একটি কোষকে শ্রেণী সমবায়ে সংযুক্ত দুইটি তার AB এবং BC-র সহিত যুক্ত করা আছে। কোষের ধনাত্মক মেরু A বিন্দুর সহিত যুক্ত। AB তারের রোধ 4 ওহ্‌ম্ এবং BC তারের রোধ 6 ওহ্‌ম্ হইলে, নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে বিভব-প্রভেদ কি হইবে নির্ণয় কর :—(i) A এবং B-এর মধ্যে, (ii) B এবং C-এর মধ্যে (iii) A এবং C-এর মধ্যে। [Ans. 0·4 ; ভোল্ট 0·6 ভোল্ট ; 1 ভোল্ট]

6. 1·5 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 2 ওহ্‌ম্ আভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত একটি কোষ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত দুইটি তারের সহিত যোগ করা হইল। তার দুইটির রোধ যথাক্রমে 4 ওহ্‌ম্ এবং 10 ওহ্‌ম্ হইলে প্রত্যেক তারের প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

[Ans. 0·22 অ্যাম্পীয়ার, ·088 অ্যাম্পীয়ার]

7. 4 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলযুক্ত একটি ব্যাটারীকে 9 ওহ্‌ম্ রোধকের সহিত যুক্ত করিলে ব্যাটারীর প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ হয় 3 ভোল্ট ; ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

[Ans. 3 ওহ্‌ম্]

8. 6·8 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল এবং 0·8 ওহ্‌ম আভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত একটি ব্যাটারীকে একটি তারের সহিত যুক্ত করিলে তারের প্রবাহমাত্রা 0·4 অ্যাম্পীয়ার হয়। তারের রোধ, উহার প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ এবং ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন নির্ণয় কর।

[Ans. 16·2 ওহ্‌ম ; 6·48 ভোল্ট ; 0·32 ভোল্ট]

9. দুইটি কুণ্ডলীকে শ্রেণী সমবায় যুক্ত করিলে তুল্যাঙ্ক রোধ হয় 12 ওহ্‌ম কিন্তু সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিলে তুল্যাঙ্ক রোধ হয় $\frac{5}{3}$ ওহ্‌ম। প্রত্যেকটি কুণ্ডলীর রোধ নির্ণয় কর।

[Ans. 10 ওহ্‌ম্, 2 ওহ্‌ম]

10. পরিবাহীর রোধ কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে? রোধাঙ্ক কাহাকে বলে? ইহার একক কি? [H.S. (Comp) 1960, H.S. Exam. 1960, cf. 1966, '69]

11. পাঁচটি বৈদ্যুতিক বাতিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হইল। প্রত্যেকটি বাতির রোধ 250 ওহ্‌ম হইলে সমবায়ের তুল্যাঙ্ক রোধ কত? [Ans. 50 ওহ্‌ম]

12. 100 সে.মি. দীর্ঘ এবং 2 বর্গ মি.মি. প্রস্থচ্ছেদের একটি তারের প্রান্তে 2 মিলি ভোল্ট বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে তার দিয়া 0·2 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহমাত্রা যায়। ঐ তারের উপাদানের রোধাঙ্ক কত? [Ans. 2×10^{-6} ওহ্‌ম সে.মি.]

13. 10 ওহ্‌ম এবং 15 ওহ্‌ম-এর দুইটি রোধক শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হইল এবং ঐরূপ তিনটি সমবায়কে সমান্তরালভাবে যুক্ত করা হইল। সমগ্র সমবায়ের রোধ কত হইবে? [Ans. 8·33 ওহ্‌ম]

14. শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত তিনটি রোধকের সহিত 12 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলের একটি ব্যাটারী যুক্ত আছে। উক্ত তিনটি রোধকের ভিতর দুইটির মান 3 ওহ্‌ম এবং 1 ওহ্‌ম এবং তৃতীয়টির মান অজ্ঞাত। 3 ওহ্‌ম রোধকের প্রান্তে সংযুক্ত একটি ভোল্টমিটারের পাঠ 6 ভোল্ট পাওয়া গেল। অজ্ঞাত রোধকটির রোধ নির্ণয় কর। [Ans. 2 ওহ্‌ম]

15. সান্ট কি? কি উদ্দেশ্যে ইহা ব্যবহৃত হয়? সান্টযুক্ত গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া প্রবাহ-মাত্রা কত হইবে?

16. 250 ওহ্‌ম রোধের একটি গ্যালভ্যানোমিটার, 1·4 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলের এবং 2 ওহ্‌ম আভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ এবং 70 ওহ্‌ম-এর একটি রোধক শ্রেণী সমবায়ের যুক্ত করা আছে। গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া কত প্রবাহ যাইবে? এখন, যদি গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত 10 ওহ্‌ম রোধের একটি সান্ট যুক্ত করা হয়, তবে গ্যালভ্যানোমিটারে কত প্রবাহ যাইবে? [Ans. $4{\cdot}35 \times 10^{-3}$ অ্যাম্পীয়ার; $6{\cdot}6 \times 10^{-4}$ অ্যাম্পীয়ার]

17. 20 ওহ্‌ম রোধের একটি গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত 5 ওহ্‌ম সান্ট যুক্ত করা আছে। এখন, ঐ গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত শ্রেণী সমবায়ে 20 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলের একটি ব্যাটারী এবং 10 ওহ্‌ম রোধের একটি কুণ্ডলী যুক্ত করিলে, গ্যালভ্যানোমিটার দিয়া কত প্রবাহ যাইবে? [Ans. 0·28 অ্যাম্পীয়ার]

18. 20 ওহ্‌ম রোধের একটি গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত কত সান্ট ব্যবহার করিলে মূল প্রবাহের 1% প্রবাহ গ্যালভ্যানোমিটার দিয়া প্রবাহিত হইবে? [Ans. 0·202 ওহ্‌ম]

19. কোষের মিশ্র সমবায় কাহাকে বলে? কি সর্তে কোষের মিশ্র সমবায় বহিঃ রোধকের ভিতর দিয়া সর্বোচ্চ প্রবাহ পাঠাইবে? ঐ সর্বোচ্চ প্রবাহের মান কত?

20. দুইটি একই রকম কোষকে কিরূপভাবে সংযুক্ত করিলে (*a*) দ্বিগুণ ভোল্টেজ, (*b*) যে-কোন একটি কোষের সমান ভোল্টেজ, (*c*) শূন্য ভোল্টেজ পাওয়া যাইবে? উপরোক্ত তিন ক্ষেত্রে সমবায়ের মোট আভ্যন্তরীণ রোধ একটি কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের সহিত কিরূপভাবে সম্পর্কযুক্ত? [*H. S.* (*Comp.*) *1966*]

21. 2 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল এবং 0·03 ওহ্‌ম আভ্যন্তরীণ রোধের 5টি কোষকে যথাক্রমে (i) শ্রেণী সমবায়ে এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিয়া 19·85 ওহ্‌ম রোধের একটি তারের সঙ্গে আটকানো হইল। তারের ভিতর দিয়া প্রতি ক্ষেত্রে কত প্রবাহ যাইবে? [Ans. (i) 0·5 অ্যাম্পীয়ার (ii) 0·101 অ্যাম্পীয়ার]

22. তোমাকে 48টি কোষ দেওয়া হইল, যাহার প্রত্যেকটি আভ্যন্তরীণ রোধ 2 ওহ্‌ম ; কোষগুলিকে কিরূপ সমবায়ে রাখিলে 6 ওহম বহিঃরোধকের ভিতর দিয়া সর্বোচ্চ প্রবাহ যাইবে ?

[Ans. প্রতি শ্রেণীতে 12টি কোষ এবং এইরূপ 4টি শ্রেণী]

23. 1, 2 এবং 3 ওহ্‌ম রোধের তিনটি তারকে 1·5 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 3 ওহ্‌ম আভ্যন্তরীণ রোধের একটি লেকল্যান্স কোষের সহিত যুক্ত করা হইল। প্রত্যেকটি তারের বিভব-প্রভেদ এবং কোষের আভ্যন্তরীণ বিভব-প্রভেদ নির্ণয় কর।

[*H. S. Exam. 1963*] [Ans. $\frac{0·5}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1·5}{3}$, 0·5 ভোল্ট]

24. 1·8 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও ·07 ওহম আভ্যন্তরীণ রোধের কয়টি কোষ প্রয়োজন হইবে 2·2 ওহ্‌ম রোধকের ভিতর দিয়া 10 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহমাত্রা পাঠাইতে ? [Ans. 20]

25. একটি কলিং বেলকে এক জোড়া কোষের সাহায্যে বাজানো হইতেছে। প্রত্যেক কোষের তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 1·8 ওহম হইলে এবং কলিং বেলে 0·5 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ গেলে, বেলের কুণ্ডলীর রোধ কত ? [Ans. 2·4 ওহম]

26. দুইটি তামার তারের দৈর্ঘ্যের অনুপাত 1 : 2 এবং উহাদের রোধ সমান। তার দুইটির ব্যাসের অনুপাত কত ? [*H. S. Exam. 1962*] [Ans. 1 : $\sqrt{2}$]

27. 4 মিটার দীর্ঘ এবং 6 ওহম/মিটার রোধের একটি সুষম তারকে বাঁকাইয়া ABCD বর্গের আকার দেওয়া হইল। ঐ বর্গের দুই সন্নিহিত কোণ A এবং B-এর সহিত 3 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল এবং 4 ওহ্‌ম আভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ যুক্ত করা হইল। AB বাহু দিয়া কত প্রবাহ যাইবে নির্ণয় কর। [Ans. 0·264 অ্যাম্পীয়ার]

28. একটি বৈদ্যুতিকরণ পরিকল্পনায়, ডায়নামোটি প্রায় রোধহীন এবং লাইন তারের রোধ 1 ওহম/মাইল ; যদি বিদ্যুৎ সরবরাহ কেন্দ্রের ভোল্টেজ 220 ভোল্ট D. C. হয়, তবে 20 মাইল দূরবর্তী স্থানে কত ভোল্টেজ পাওয়া যাইবে যখন লাইন-তার দিয়া 2 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ লওয়া হইতেছে। ঐ স্থানে সর্বাপেক্ষা কত বেশী প্রবাহ যাইতে পারে ?

[Ans. 140 ভোল্ট ; 5·5 অ্যাম্পীয়ার]

29. একটি ব্যাটারীর সহিত 1·5 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 0·5 ওহম রোধের একটি লেক্‌ল্যান্স কোষ শ্রেণী সমবায়ে লাগাইলে উহা 19·5 ওহম-এর একটি বহিঃ রোধকের ভিতর দিয়া 0·325 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ পাঠায়। যখন লেক্‌ল্যান্স কোষ বিরুদ্ধ সমবায়ে যুক্ত থাকে, তখন প্রবাহমাত্রা হয় 0·175 অ্যাম্পীয়ার। ঐ ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল এবং আভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর। [Ans. 5 ভোল্ট ; 0]

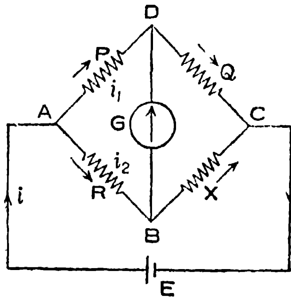
30. দুইটি তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাস এবং রোধাঙ্ক—প্রত্যেকটির অনুপাত 1:2. অপেক্ষাকৃত সরু তারটির রোধ 10 ওহ্‌ম হইলে অন্য তারটির রোধ কত ? [Ans. 10 ওহ্‌ম]

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

বৈদ্যুতিক পরিমাপসমূহ
(Electrical measurements)

3·1 **সাধারণ মানের রোধ পরিমাপ** (Measurement of ordinary resistances) : সাধারণ মানের রোধ পরিমাপের নীতি হুইটস্টোন ব্রীজের (Wheatstone bridge) নীতির উপর প্রতিষ্ঠিত। এই নীতিকে ব্যবহারিক ক্ষেত্রে প্রয়োগ করিয়া মিটার ব্রীজ এবং পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে রোধ পরিমাপ করা হয়। তাই, সর্বপ্রথম হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি সম্পর্কে আলোচনা করা হইল।

হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি (Principle of Wheatstone bridge) : P, Q, R এবং X—এই চারটি রোধককে যদি 3·1 নং চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপ চতুর্ভুজের ন্যায় যুক্ত করা হয় তাহা হইলে ঐ সমবায়কে হুইটস্টোন ব্রীজ বলা হয়। P এবং Q রোধকদ্বয়ের সংযোগস্থল D বিন্দু এবং R ও X রোধকদ্বয়ের সংযোগস্থল B বিন্দু—এই দুই বিন্দুর মধ্যে গ্যালভ্যানোমিটার G যুক্ত করিতে হইবে। তেমনি P ও R রোধকদ্বয়ের সংযোগস্থল A বিন্দু এবং X ও Q রোধক-দ্বয়ের সংযোগস্থল C বিন্দু—এই দুই বিন্দুর মধ্যে ব্যাটারী E যোগ করিতে হইবে। এই অবস্থায় ব্যাটারী হইতে মূল তড়িৎপ্রবাহ A বিন্দুতে পৌঁছাইয়া বিভিন্ন রোধকের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইবে। যদি রোধকগুলির মান এমন হয় যে D বিন্দু B বিন্দু অপেক্ষা উচ্চ বিভবে থাকে, তবে তড়িৎপ্রবাহ গ্যালভ্যানোমিটার দিয়া D হইতে B-এর দিকে যাইবে।



চিত্র 3·1

ইহাতে গ্যালভ্যানোমিটারে একটি বিক্ষেপ হইবে। আর যদি B বিন্দু D বিন্দু অপেক্ষা উচ্চ বিভবে থাকে তবে তড়িৎপ্রবাহ গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া B হইতে D-এর দিকে যাইবে। তাহাতে গ্যালভ্যানোমিটারে একটি উল্টা বিক্ষেপ হইবে। কিন্তু রোধকগুলির মান নিয়ন্ত্রিত করিয়া D এবং B বিন্দুর বিভব সমান করিতে পারিলে ঐ পথে কোন প্রবাহ যাইবে না এবং গ্যালভ্যানো-মিটারেও কোন বিক্ষেপ হইবে না। এই অবস্থাকে **নিস্পন্দ অবস্থা** (null condition) বলা হয়। প্রমাণ করা যায়, নিস্পন্দ অবস্থায়, $\dfrac{P}{Q}=\dfrac{R}{X}$

প্রমাণ : একথা বলা হইয়াছে যে B এবং D বিন্দুদ্বয়ের বিভব সমান হইলে গ্যাল-ভ্যানোমিটার G-এর ভিতর দিয়া কোন প্রবাহ যাইবে না; সেক্ষেত্রে P রোধকের ভিতর দিয়া যে প্রবাহ যাইবে তাহা Q রোধকের ভিতর দিয়াও যাইবে। আবার, R রোধকের ভিতর দিয়া যে

প্রবাহ যাইবে X রোধকের ভিতর দিয়াও সেই প্রবাহ যাইবে। মনে কর, মূলপ্রবাহ A বিন্দুতে পৌঁছাইয়া i_1 এবং i_2 অংশে বিভক্ত হইয়া যথাক্রমে P এবং R রোধকের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইল। নিস্পন্দ অবস্থায় Q রোধকের মধ্য দিয়া i_1 এবং X রোধকের মধ্য দিয়া i_2 প্রবাহ যাইবে। এখন, ওহ্‌ম সূত্র হইতে পাই

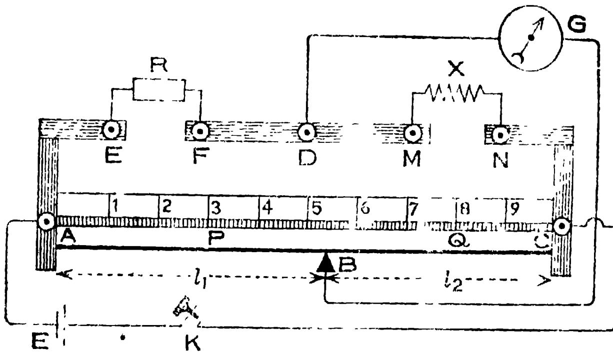
$$i_1=\frac{V_A-V_D}{P}=\frac{V_D-V_C}{Q} \qquad \therefore \quad \frac{P}{Q}=\frac{V_A-V_D}{V_D-V_C}$$

আবার, $$i_2=\frac{V_A-V_B}{R}=\frac{V_B-V_C}{X} \qquad \therefore \frac{R}{X}=\frac{V_A-V_B}{V_B-V_C}$$

যেহেতু নিস্পন্দ অবস্থায়, $V_B=V_D$, সেইহেতু $\frac{P}{Q}=\frac{R}{X}$

এখন, P, Q এবং R রোধকের মান জানা থাকিলে X রোধকের মান নির্ণয় করা যাইবে। ইহাকে হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি বলা হয়।

3·2 মিটার ব্রীজ (Metre bridge) : 3·2 নং চিত্রে একটি মিটার ব্রীজ দেখানো হইয়াছে। এই যন্ত্র হুইটস্টোন ব্রীজ নীতির কার্যকর প্রয়োগ এবং ইহার সাহায্যে অতি সহজে কোন অজ্ঞাত রোধের মান নির্ণয় করা যায়। AC একটি সুষম, এক মিটার দীর্ঘ তার একখানি কাঠের বোর্ডের উপর একটি মিটার স্কেলের গা বরাবর আটকানো থাকে। যে অজ্ঞাত রোধকের



চিত্র 3·2

মান পরিমাপ করিতে হইবে তাহা হইল X; R একটি রোধবাক্স। চিত্রের কালো রেখাঙ্কিত স্থানগুলি পিতল বা তামার মোটা পাতের তৈরী এবং উহাদের রোধ খুব কম। G একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার। উহার একপ্রান্ত একটি সঞ্চরণশীল জকি (movable jockey) B-এর সহিত যুক্ত। জকি AC তার বরাবর চলাচল করিতে পারে। সমগ্রভাবে যন্ত্রটি 3·1 নং চিত্রে দেখানো হুইটস্টোন ব্রীজ এবং ঐ চিত্রের A, B প্রভৃতি বিন্দুগুলি 3·2 নং চিত্রের মিটার ব্রীজের অনুরূপ বিন্দুগুলি বুঝাইতেছে। B জকিকে AC তার বরাবর দক্ষিণে বা বামে সরাইয়া এমন একটি বিন্দু নির্ণয় করিতে হইবে যেখানে জকি তারকে স্পর্শ করিলে G গ্যালভ্যানোমিটারে কোন

বিক্ষেপ না হয়। এই অবস্থায় AB এবং BC তারের দৈর্ঘ্য l_1 এবং l_2 স্কেল হইতে মাপিতে হইবে। যেহেতু DB পথে গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া কোন প্রবাহ যাইতেছে না, সেইহেতু হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি হইতে লেখা যায়, $\frac{P}{Q}=\frac{R}{X}$

AC তারের প্রতি সেন্টিমিটারে রোধ σ হইলে AB অংশের রোধ $=P=l_1\sigma$ এবং BC অংশের রোধ$=Q=l_2\sigma$. $\quad\therefore\quad \frac{P}{Q}=\frac{l_1}{l_2}$

অতএব, $\frac{R}{X}=\frac{l_1}{l_2}$ অথবা, $X=R.\frac{l_2}{l_1}=R\times\frac{100-l_1}{l_1}$

রোধবাক্স হইতে বিভিন্ন রোধ তুলিয়া পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করিতে হইবে এবং তাহা হইতে X-এর গড় মান নির্ণয় করিতে হইবে।

[দ্রঃ এই পদ্ধতিতে একটি তারের উপাদানের রোধাঙ্ক খুব সহজে নির্ণয় করা যায়। স্ক্রু-গেজের সাহায্যে তারের ব্যাস এবং স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিয়া লইলে, রোধাঙ্ক $\rho = X.\frac{\pi d^2}{4l}$ নির্ণয় করা যাইবে।]

পরীক্ষায় ত্রুটির কারণ (Sources of error in the experiment) ঃ মিটার ব্রীজের উপরোক্ত পরীক্ষায় কতকগুলি ত্রুটি আসিতে পারে।

(i) ব্রীজ তারটি সুষম না হইতেও পারে। এই ত্রুটি দূর করিবার জন্য তারকে পূর্বাহ্নেই ক্রমাঙ্কিত (calibrate) করিয়া লইতে হয় যাহাতে নিস্পন্দ বিন্দুর উভয় দিকের তারের দৈর্ঘ্যের অনুপাত সঠিকভাবে জানা যাইতে পারে।

(ii) জকি যে-স্থানে নিস্পন্দবিন্দু প্রদর্শন করিতেছে, তারের সেই প্রকৃত দৈর্ঘ্য স্কেল নির্দেশিত দৈর্ঘ্য হইতে সামান্য তফাৎ হইতে পারে। এই ত্রুটি পরিহারের জন্য R এবং X রোধকদ্বয়ের স্থান পরিবর্তন করিয়া পুনরায় নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করিতে হয় এবং গড় দৈর্ঘ্য লইতে হয়।

(iii) ব্রীজ তার এবং ব্রীজের বিভিন্ন ধাতুর সংযোগস্থলের ভিতর দিয়া একটানা অনেকক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ চালাইলে তাপের উৎপত্তি হইয়া নিস্পন্দ বিন্দুর পরিবর্তন ঘটাইতে পারে। ইহা পরিহারের জন্য তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া পর্যবেক্ষণের পুনরাবৃত্তি করা দরকার এবং ব্যাটারীর সহিত টেপা চাবি লইয়া যতক্ষণ প্রয়োজন ঠিক ততক্ষণই প্রবাহ চালানো উচিত।

(iv) **প্রান্ত ত্রুটি সংশোধন** (End correction) ঃ ব্রীজ তারের প্রান্তে কিছু রোধ অন্তর্ভুক্ত হয়। ইহার কারণ, তারকে তামার পাতের সহিত ঝালাই করিয়া লাগাইলে, ঝালাইয়ের দরুন প্রান্তে কিছু রোধ আসে। তাছাড়া, তামার পাতেরও কিছু রোধ থাকে এবং তারটিও ঠিক ঠিক এক মিটার থাকে না। এই সকল কারণে ধরিয়া লওয়া হয় তারের দুই প্রান্তে কিছু রোধ অন্তর্ভুক্ত হয়। এই রোধ হিসাবে না আনিলে ফলাফল ত্রুটি পূর্ণ হইবে। এই কারণে ইহাকে **প্রান্তিক ত্রুটি** বলে। সাধারণত এই রোধ প্রয়োজনীয় তারের দৈর্ঘ্য দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং নিম্নলিখিত-রূপে নির্ধারণ করা হয়।

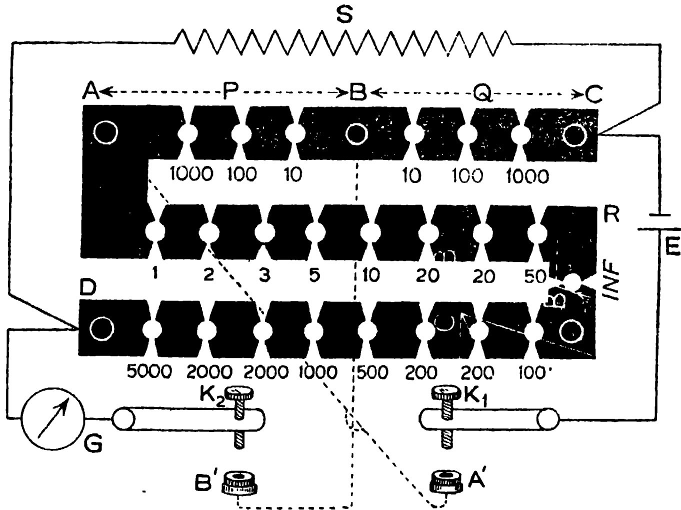
মিটার ব্রীজের দুই ফাঁকে (অর্থাৎ EF এবং MN) দুইটি জানা রোধক P এবং Q যুক্ত কর। তারের দুই প্রান্তের প্রান্তিক ত্রুটি x cm. এবং y cm. তারের রোধের সমান হইলে এবং নিস্পন্দ বিন্দুর দৈর্ঘ্য l_1 হইলে, লেখা যায়,

$$\frac{P}{Q}=\frac{l_1+x}{(100-l_1)+y} \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(i)}$$

P এবং Q রোধকের স্থান অদল-বদল করিয়া পুনরায় নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করিলে যদি উহার দৈর্ঘ্য l_2 হয় তবে, $\frac{Q}{P}=\frac{l_2+x}{(100-l_2)+y}$ (ii)

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ হইতে x এবং y নির্ণয় করিয়া পরবর্তী পরীক্ষায় ব্যবহার করিতে হইবে।

3·3 **পোস্ট অফিস বক্স** (Post office box) ঃ এই যন্ত্রও হুইটস্টোন ব্রীজের একটি কার্যকর প্রয়োগ। পূর্বে ডাকঘর কর্তৃক টেলিগ্রাফ কেব্‌ল্ প্রভৃতির রোধ পরিমাপের এই যন্ত্র ব্যবহৃত হইত বলিয়া ইহাকে পোস্ট অফিস বক্স বলা হয়। 3·3 নং চিত্রে এই বাক্সের একটি নক্‌শা দেখানো হইয়াছে। এই যন্ত্রের প্রথম লাইন CA দুইটি অংশে বিভক্ত। CB



চিত্র 3·3

এবং BA—এই দুই অংশের প্রত্যেকটিতে 10, 100 এবং 1000 ওহ্‌মের তিনটি করিয়া রোধকুণ্ডলী থাকে। এই অংশদ্বয় হুইটস্টোন ব্রীজের P এবং Q রোধকের কাজ করে এবং ইহাদের বলা হয় অনুপাত বাহুদ্বয় (ratio arms)। হুইটস্টোন ব্রীজের তৃতীয় বাহু R এই যন্ত্রে A হইতে D পর্যন্ত বিস্তৃত এবং ইহাতে 1 হইতে 5000 ওহম-এর বিভিন্ন রোধকুণ্ডলী শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত থাকে। যে কোন কুণ্ডলীর প্লাগ তুলিয়া লইলে ঐ রোধ বর্তনীর অন্তর্গত

হইবে। প্রকৃতপক্ষে এই বাহুর রোধ নিয়ন্ত্রিত করিয়া গ্যালভ্যানোমিটারে নিস্পন্দ বিন্দুর উদ্ভব করাইতে হয়। D এবং C বিন্দুদ্বয়ের ভিতর অজ্ঞাত রোধক S যুক্ত করা হয়। একটি টেপা চাবি K_2-এর মাধ্যমে B এবং D বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে গ্যালভ্যানোমিটার G এবং আর একটি চাবি K_1-এর মাধ্যমে A এবং C বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে ব্যাটারী যুক্ত করিতে হয়।

যন্ত্রের ব্যবহারঃ একটি বিশেষ উদাহরণ লইলে যন্ত্রের ব্যবহার সহজে বোঝা যাইবে। ধর, যে রোধকের মান নির্ণয় করিতে হইবে তাহা 5·36 ওহ্‌ম। ইহা নির্ধারণের জন্য নিম্নলিখিত পন্থা অবলম্বন করিতে হইবে।

(i) পরীক্ষাধীন রোধককে D এবং C বিন্দুদ্বয়ের ভিতর যুক্ত কর। P এবং Q অনুপাত বাহুদ্বয়ের প্রত্যেকটি হইতে 10 ওহ্‌ম প্লাগ তোল। এইবার R বাহুতে 1 ওহ্‌ম প্লাগ তুলিয়া প্রথমে ব্যাটারী-বর্তনীর চাবি K_1 এবং পরে গ্যালভ্যানোমিটার-বর্তনীর চাবি K_2 টেপ। গ্যালভ্যানমিটারে বিক্ষেপ লক্ষ্য কর। এইভাবে R বাহু হইতে ক্রমাগত উচ্চ মানের রোধ-প্লাগ তুলিতে হইবে যতক্ষণ না 1 ওহ্‌ম তফাতের দুইটি রোধকের জন্য গ্যালভ্যানোমিটারে বিপরীত বিক্ষেপ হয়। উপরোক্ত রোধকের বেলায়, 5 ওহ্‌ম এবং 6 ওহ্‌ম প্লাগ তুলিলে গ্যালভ্যানোমিটারে বিপরীত বিক্ষেপ দেখা যাইবে। ইহা হইতে বোঝা যায় যে অজ্ঞাত রোধ 5 ওহ্‌ম-এর বেশী কিন্তু 6 ওহ্‌মের কম।

(ii) এইবার P বাহু হইতে 100 ওহ্‌ম প্লাগ তোল এবং Q বাহুতে পূর্বের 10 ওহ্‌ম প্লাগ তুলিয়া রাখ—অর্থাৎ বাহুদ্বয়ের অনুপাত হইল 10:1; দেখা যাইবে R বাহুতে 53 ওহ্‌ম তুলিলে গ্যালভ্যানোমিটারে যে-দিকে বিক্ষেপ হইবে 54 ওহ্‌ম তুলিলে বিক্ষেপ উল্টা দিকে হইবে। যেহেতু P এবং Q বাহুদ্বয়ের অনুপাত 10:1 সেইহেতু বলা যায় অজ্ঞাত রোধকের মান 5·3 এবং 5·4 ওহ্‌মের মধ্যে হইবে।

(iii) এখন P বাহু হইতে 1000 ওহ্‌ম প্লাগ তোল এবং Q বাহুতে পূর্বের 10 ওহ্‌ম প্লাগ তুলিয়া রাখ—অর্থাৎ বাহুদ্বয়ের অনুপাত হইল 100:1; পূর্বের প্রক্রিয়া অনুসরণ করিলে দেখা যাইবে যে R বাহুতে 536 ওহ্‌ম তুলিলে গ্যালভ্যানোমিটারে প্রায় কোন বিক্ষেপই হইল না। এই অবস্থায় হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি হইতে বলা যায়,

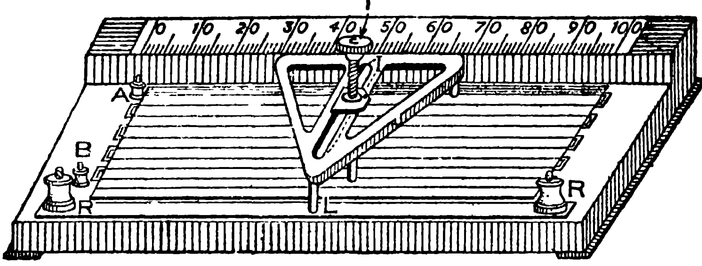
$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S} \text{ অথবা, } \quad \frac{1000}{10}=\frac{536}{S} \quad \therefore \quad S=\frac{536}{100}=5{\cdot}36 \text{ ওহ্‌ম।}$$

[দ্রঃ লেখকের 'ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞানে' বিশদ বিবরণ দ্রষ্টব্য।]

3·4 পোটেনসিওমিটার (Potentiometer) :

বিবরণঃ বিভব-পার্থক্য পরিমাপের যন্ত্রকে পোটেনসিওমিটার বলে। এই যন্ত্রে সাধারণত দশ মিটার দৈর্ঘ্যের একটি তার কাঠের বোর্ডের উপর একটি মিটার স্কেলের গা বরাবর আটকানো থাকে। সমগ্র তারটিকে প্রতিটি এক মিটার দীর্ঘ এইরূপ দশভাগে বিভক্ত করিয়া উহাদের শ্রেণী সমবায়ে আবদ্ধ করা হয় এবং পরস্পরের সমান্তরালভাবে A এবং B বিন্দুর ভিতর যুক্ত [চিত্র 3.4] রাখা হয়। এই তার এমনভাবে বাছিয়া লওয়া হয় যে উহার রোধের তাপমাত্রা-গুণাঙ্ক (temperature coefficient of resistance) খুব কম। সাধারণত ম্যাংগানিন

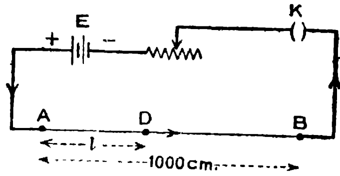
বা কনস্ট্যানটানের তার লওয়া হয়। একটি পিতল নির্মিত তিনপায়া জকি তারগুলির দৈর্ঘ্য বরাবর বামে ও দক্ষিণে চলাচল করিতে পারে এবং চলাচল করিবার সময় উহার একটি পা (L) সর্বদা একটি পিতলের পাত R—R-এর সহিত স্পর্শ করিয়া থাকে। ঐ পাতের সহিত যুক্ত



চিত্র 3·4

বন্ধনী-স্ক্রুর সহিত গ্যালভ্যানোমিটার যুক্ত করিতে হয়। জকির মধ্যস্থলে রক্ষিত একটি চাবি T টিপিলে জকির মধ্যের পা তার স্পর্শ করে। ঐ চাবিকে সামনে-পিছনে সরাইয়া যেকোন তারের সহিত মধ্যের পা-কে সংস্পর্শযুক্ত করা যায়।

কার্যনীতিঃ ধর, AB হইল পোটেনসিওমিটার তার (চিত্র নং 3·5)। একটি স্থির তড়িচ্চালক বলযুক্ত ব্যাটারী E-এর সাহায্যে ঐ তার দিয়া একটি স্থির তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হইতেছে। ধর, তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে রোধ$=\sigma$ এবং তার দিয়া প্রবাহ-মাত্রা$=i$ amp. এক্ষেত্রে, AB তারের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ $=1000\times\sigma\times i$



চিত্র 3·5

[AB তারের রোধ$=1000\times\sigma$]

এবং AD অংশের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ$=l\times\sigma\times i$

$$\therefore \frac{\text{AB তারের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ}}{\text{AD অংশের} \quad ,,} = \frac{1000\times\ \times\sigma\times i}{l\times\sigma\times i} = \frac{1000}{l}$$

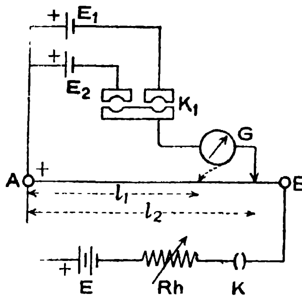
অতএব, AD অংশের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ$=\dfrac{l}{1000}\times$AB তারের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ। সুতরাং দেখা যাইতেছে, পোটেনসিওমিটার তার দিয়া স্থির তড়িৎপ্রবাহ গেলে, তারের যে-কোন অংশের বিভবপ্রভেদ ঐ অংশের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক। ইহাই পোটেনসিওমিটারের মূলনীতি।

3·5 পোটেনসিওমিটারের ব্যবহার (Uses of potentiometer)ঃ

(ক) দুইটি কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা (Comparison of e.m.f's of two cells)ঃ

ধর, E_1 এবং E_2 এই দুইটি তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা করিতে হইবে। AB

পোটেনসিওমিটার তারের সহিত শ্রেণী সমবায়ে একটি ব্যাটারী E (যাহার তড়িচ্চালক বল E_1 এবং E_2 অপেক্ষা বেশী), একটি রিওস্ট্যাট R_h, এবং একটি প্লাগ চাবি K যুক্ত আছে [চিত্র নং 3·6)]। K_1 দুইমুখ চাবির সাহায্যে একের পর এক E_1 এবং E_2 কোষ দুইটিকে গ্যালভ্যানোমিটার G-এর মাধ্যমে পোটেনসিও-মিটার তারের সহিত চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপ সংস্পর্শে আনা যাইতে পারে। ধর, যখন E_1 কোষকে পোটেনসিওমিটার বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করা হইল, তখন A প্রান্ত হইতে নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব $=l_1$ cm.



চিত্র 3·6

এক্ষেত্রে লেখা যায়, $E_1=l_1\sigma.i$ [σ=তারের প্রতি সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যে রোধ এবং i=তারের স্থির প্রবাহ মাত্রা।]

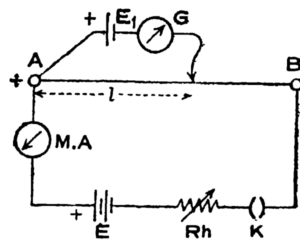
অনুরূপভাবে যখন দ্বিতীয় কোষ E_2-কে পোটেনসিওমিটার বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করা হইল, তখন মনে কর, নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব$=l_2$cm.

এক্ষেত্রে, $E_2=l_2\sigma.i$; ভাগ দিলে, $\dfrac{E_1}{E_2}=\dfrac{l_1}{l_2}$

রিওস্ট্যাট R_h-এর সাহায্যে পোটেনসিওমিটার তারের প্রবাহমাত্রা পরিবর্তন করিয়া একাধিক পর্যবেক্ষণ লওয়া হয় এবং উহা হইতে গড় অনুপাত নির্ণয় করা হয়।

বলা বাহুল্য, উপরোক্ত কোষ দুইটির মধ্যে একটি প্রমাণ কোষ হইলে ঐ পদ্ধতিতে অপর কোষের তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করা যায়।

(খ) **কোন কোষের তড়িচ্চালক বল নির্ণয়** (Measurement of e.m.f. of a cell)ঃ ধর, E_1 কোষের তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করিতে হইবে। পোটেনসিওমিটার তার AB-র সহিত শ্রেণী সমবায়ে একটি ব্যাটারী E (যাহার তড়িচ্চালক বল E_1 অপেক্ষা বেশী), একটি মিলি-অ্যামমিটার (M.A.), একটি রিওস্ট্যাট (R_h) এবং একটি প্লাগ চাবি (K) যুক্ত। G একটি গ্যাল-ভ্যানোমিটার [চিত্র নং 3·7]।



চিত্র 3·7

এখন প্লাগ চাবিতে প্লাগ বসাইয়া AB তার দিয়া একটি স্থির প্রবাহ পাঠাও। অতঃপর পোটেনসিও-মিটার তার বরাবর জকি স্পর্শ করিয়া নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ধারণ কর। ধর, A প্রান্ত হইতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব$=l$ cm.

বলা বাহুল্য, E_1 $=l$ cm. তারের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ

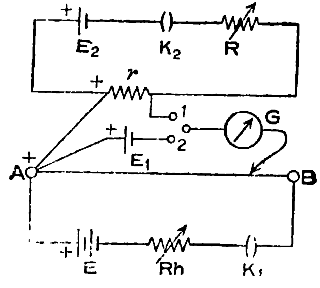
$$\frac{l}{1000}\times \text{AB তারের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ}$$

এখন, পোটেনসিওমিটার দিয়া যদি i অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ (মিলি-অ্যামমিটার প্রদর্শিত) যায় এবং AB তারের রোধ যদি r হয়, তবে, AB তারের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ $=i.r.$

$$\therefore \quad E_1 = \frac{i.r.l.}{1000} \text{ ভোল্ট।}$$

এখানে লক্ষ্য রাখিবার বিষয় যে, মিলি-অ্যামমিটার যে প্রবাহ প্রদর্শন করে তাহাকে অ্যাম্পীয়ারে প্রকাশ করিয়া লইতে হইবে। রিওস্ট্যাটের সাহায্যে পোটেনসিওমিটার তারের প্রবাহমাত্রা পরিবর্তন করিয়া একাধিক পর্যবেক্ষণ লওয়া প্রয়োজন এবং তাহা হইতে গড় মান নির্ধারণ করা উচিত।

(গ) **কোন বর্তনীর প্রবাহ মাত্রা পরিমাপ** (Measurement of current in a circuit): তড়িৎকোষ E_2 এবং পরিবর্তনীয় রোধক R একটি তড়িৎ-বর্তনী গঠন করিয়াছে। উহার প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করিতে হইবে। ঐ বর্তনীর ভিতর একটির প্রমাণ (standard) নিম্নমানের রোধক r শ্রেণী সমবায়ে অন্তর্ভুক্ত করিতে হইবে [চিত্র নং 3·8]। রোধক নিম্নমানের হওয়ায় বর্তনীর প্রবাহমাত্রা পরিবর্তিত হইবে না—অথচ ঐ রোধকের দুই প্রান্তে বিভব-পতন হইবে। এই বিভব-পতন V ধরিলে, বর্তনীর প্রবাহমাত্রা $i=\frac{V}{r}$.



চিত্র 3·8

পোটেনসিওমিটারের সাহায্যে একটি প্রমাণ কোষ E_1-এর তড়িচ্চালক বলের সহিত তুলনা করিয়া এই বিভব-পতন নির্ণয় করিতে হইবে। এই উদ্দেশ্যে 3·8 নং চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপ বর্তনীব্যবস্থা করিতে হইবে। ঐ বর্তনীতে একটি দুমুখ চাবি (two-way key) ব্যবহার করা হইয়াছে। ঐ চাবির 1 নং চিহ্নিত ফাঁকে প্লাগ বসাইলে r রোধককে গ্যালভ্যানোমিটার G-এর মাধ্যমে পোটেনসিওমিটার বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করা হইবে। প্লাগ উঠাইয়া 2 নং ফাঁকে বসাইলে প্রমাণ কোষ E_1-কে গ্যালভ্যানোমিটারের মাধ্যমে পোটেনসিওমিটার বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করা হইবে।

ধর, 1 নং ফাঁকে বসাইয়া যখন r রোধককে পোটেনসিওমিটার বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করা হইল তখন তারের A প্রান্ত হইতে নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব $=l_1$ cm.

এক্ষেত্রে লেখা যায়, $V=l_1\sigma i$

অনুরূপভাবে যখন 2 নং ফাঁকে প্লাগ বসাইয়া E_1 কোষকে পোটেনসিওমিটার বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করা হয়, তখন, মনে কর, নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব $=l_2$ cm. এবার, $E_1=l_2\sigma.i.$

ভাগ দিলে, $\frac{V}{E_1}=\frac{l_1}{l_2}$ $\quad\therefore\quad i=\frac{V}{r}=\frac{E_1.l_1}{r.l_2}$

দক্ষিণ দিকের সব কিছু রাশি জানা থাকায়, বর্তনীর প্রবাহমাত্রা i নির্ণয় করা যাইবে।

Example : পোটেনসিওমিটারের সাহায্যে প্রবাহমাত্রা নির্ণয়ের এক পরীক্ষায় যে নিম্নমানের প্রমাণ রোধক ব্যবহার করা হইয়াছিল তাহার মান 0·01 ওহম। পোটেনসিওমিটার তারের প্রতি সেন্টিমিটারে বিভবপতন ছিল 13×10^{-6} ভোল্ট এবং তারের 760cm. দূরে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া গিয়াছিল। ঐ লাইন দিয়া প্রবাহমাত্রা কত ছিল নির্ণয় কর।

উ। পোটেনসিওমিটারের প্রতি সেন্টিমিটারে বিভবপতন $= 13 \times 10^{-6}$ ভোল্ট

সুতরাং 760 cm. তারে বিভব-পতন $= 13 \times 10^{-6} \times 760$ ভোল্ট

বলা বাহুল্য, এই বিভবপতন নিম্নমানের প্রমাণ রোধকের প্রান্তীয় বিভবপতনের সমান।

অতএব, লাইনের প্রবাহমাত্রা $= \dfrac{\text{বিভবপতন}}{\text{নিম্নমানের রোধ}} = \dfrac{13 \times 10^{-6} \times 760}{\cdot 01}$

$= 0 \cdot 988$ অ্যাম্পীয়ার।

Exercises

1. একটি মিটারব্রীজের মূলতত্ত্ব এবং উহার সাহায্যে দুইটি রোধকের তুলনার পরীক্ষা বিবৃত কর।

2. রোধ পরিমাপে হুইটস্টোন ব্রীজ পদ্ধতির মূলতত্ত্ব আলোচনা কর।

3. একটি তারের উপাদানের রোধাঙ্ক নির্ণয়ে মিটার ব্রীজকে কিভাবে ব্যবহার করিবে?

4. একটি পোস্ট অফিস বক্সের বর্ণনা কর এবং উহার সাহায্যে একটি তারের রোধ কিরূপে নির্ণয় করিবে বিবৃত কর।

5. পোটেনসিওমিটারের সহায়তায় দুইটি তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল কিরূপে তুলনা করিবে? পদ্ধতির মূলনীতি ব্যাখ্যা কর।

6. একটি পোটেনসিওমিটার বর্ণনা কর এবং উহার সাহায্যে কোন বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ নির্ণয় পদ্ধতি সবিস্তারে ব্যাখ্যা কর।

7. একটি ড্যানিয়েল এবং একটি লেকল্যান্স কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা কিরূপে করিবে তাহা বুঝাইয়া বল।

8. 1000cm. দীর্ঘ একটি পোটেনসিওমিটার তারের রোধ 20 ওহম। পোটেনসিও-মিটার বর্তনীর অন্তর্গত একটি মিলি-অ্যামমিটার 100 মিলি-অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ প্রদর্শন করিতেছে। 1·4 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলের একটি লেকল্যান্স কোষের জন্য নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় কর।

[Ans. 700 cm.]

তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ফল ও তাপ-তড়িৎ

(Heating effect of electric current & thermo-electricity)

4·1 **সূচনা** ঃ প্রথম পরিচ্ছেদে তড়িৎপ্রবাহের বিভিন্ন ফল উল্লেখ করিবার সময় বলা হইয়াছে, কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া যখন তড়িৎপ্রবাহ ঘটে তখন পরিবাহী উত্তপ্ত হইয়া পড়ে। ইহাকে তড়িৎপ্রবাহের **তাপীয় ফল** বলা হয়। তড়িৎ প্রবাহের এই তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগ দ্বারা বহু প্রয়োজনীয় কার্য সম্পাদন করা হয়। বিজলিবাতি হইতে আমরা যে আলো পাই, বৈদ্যুতিক হিটার ও স্টোভ্ হইতে যে তাপ উদ্ভূত হয় তাহা তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফলের গার্হস্থ্য প্রয়োগ। আবার, বৈদ্যুতিক আর্ক ওয়েলডিং (arc welding), বৈদ্যুতিক ফার্নেস প্রভৃতি তাপীয় ফলের শিল্পক্ষেত্রে প্রয়োগের দৃষ্টান্ত। তড়িৎপ্রবাহের ফলে যে তাপের উদ্ভব হয় সেই সংক্রান্ত সূত্র সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন ডাঃ জুল 1841 খ্রীষ্টাব্দে। তাঁহার নামানুসারে এই সূত্রকে জুলের সূত্র বলা হয়।

4·2 **জুলের সূত্র** (Joule's law) ঃ 'R' রোধযুক্ত পরিবাহীতে যদি 't' সময় ধরিয়া 'I' প্রবাহমাত্রা চালু থাকে, তবে জুলের সূত্রকে নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করা যাইতে পারে ঃ—

(i) **রোধ ও সময় অপরিবর্তিত থাকিলে উদ্ভূত তাপ (H) প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক হয়;** অর্থাৎ $H \propto I^2$ যদি R ও t ধ্রুবক হয়।

(ii) **প্রবাহ-মাত্রা ও সময় অপরিবর্তিত থাকিলে উদ্ভূত তাপ রোধের সমানুপাতিক হয়;** অর্থাৎ $H \propto R$ যদি I ও t ধ্রুবক হয়।

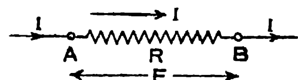
(iii) **রোধ ও প্রবাহ-মাত্রা অপরিবর্তিত থাকিলে উদ্ভূত তাপ সময়ের সমানুপাতিক হয়;** অর্থাৎ $H \propto t$ যদি I ও R ধ্রুবক হয়।

সুতরাং গণিতের ভাষায় সমগ্রভাবে সূত্রকে নিম্নলিখিত উপায়ে প্রকাশ করা যাইতে পারে ঃ—

$$H \propto I^2 R.t$$

4·3 **জুলের সূত্রের প্রতিষ্ঠা** (Establishment of Joule's law):

ধর, AB পরিবাহীর প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ E এবং উহার রোধ R [চিত্র 4·1]। মনে কর, ঐ পরিবাহী দিয়া t সময় ব্যাপিয়া I প্রবাহ যাইতেছে।



চিত্র 4·1

বিভবপ্রভেদের সংজ্ঞা অনুযায়ী বলা যায় যে পরিবাহীর এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে একক মাত্রার তড়িতাধান লইতে E একক কার্য করিতে হইবে। এখন, t সময় ব্যাপিয়া I প্রবাহ চালু থাকিবার ফলে যদি পরিবাহীর এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে $Q(=I.t)$ পরিমাণ তড়িতাধান স্থানান্তরিত হয়, তবে, কৃতকার্য $W = E.Q. = E.I.t.$

এ পর্যন্ত বিভবপ্রভেদ, তড়িৎপ্রবাহমাত্রা ইত্যাদি কোন রাশিরই একক উল্লেখ করা হয় নাই। ব্যবহারিক একক অনুযায়ী যদি E ভোল্টে, I অ্যাম্পীয়ারে, t সেকেণ্ডে প্রকাশ করা হয়, তবে,
$W=E.I.t.$ জুল $=E.I.t\times 10^7$ আর্গ
এই পরিমাণ কার্য তাপে রূপান্তরিত হইয়া পরিবাহীকে উত্তপ্ত করিবে। যদি H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হয়, তবে, $W=J.H$ [$J=$তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক]

অথবা, $E.I.t\times 10^7=J.H.$ [$J=4{\cdot}2\times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি]

$$\therefore\ H=\frac{E.I.t\times 10^7}{J}=\frac{E.I.t\times 10^7}{4{\cdot}2\times 10^7} \text{ ক্যালরি}$$

$$=0{\cdot}24\times E\times I\times t \text{ ক্যালরি} \quad .. \quad \text{(i)}$$

$$=0{\cdot}24\times I^2\times R\times t \quad .. \quad \text{(ii)}$$

$$[\because\ E=I\times R]$$

অথবা, $H\propto I^2.R.t.$; ইহাই জুলের সূত্র।

উপরন্তু $I=1$ amp. $R=1$ ohm এবং $t=1$ sec হইলে $H=0{\cdot}24$ cal অর্থাৎ 1 ওহম রোধের পরিবাহী দিয়া 1 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ গেলে প্রতি সেকেণ্ডে $0{\cdot}24$ ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হয়।

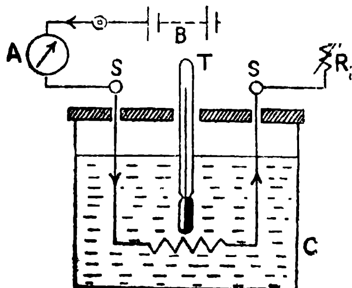
যদি পরিবাহীর প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ E ভোল্ট হয় তবে ওহমের সূত্রানুযায়ী $E=I.R.$ কাজেই আমরা লিখিতে পারি $H={\cdot}24.I^2Rt={\cdot}24EIt={\cdot}24\times\frac{E^2}{R}\times t$

অর্থাৎ (i) $H\propto E^2$ যখন t এবং R ধ্রুবক

(ii) $H\propto\frac{1}{R}$ যখন E এবং t ধ্রুবক

(iii) $H\propto t$ যখন E এবং R ধ্রুবক

4·4 জুল্ সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা (Verification of Joule's law): জুল্-সূত্রের পরীক্ষার জন্য 4·2 নং চিত্র অনুযায়ী ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে।



চিত্র 4·2

(i) **প্রথম সূত্রের পরীক্ষা**: C একটি আংশিক জলপূর্ণ ক্যালরিমিটার। উহার উপরে কয়েকটি ছিদ্রযুক্ত একটি এবোনাইটের ঢাকনা দেওয়া আছে।

জলের মধ্যে একটি তারের কুণ্ডলী ডুবানো আছে এবং কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয় S, S দুইটি বন্ধনীর সহিত যুক্ত। একটি ব্যাটারী B, একটি প্রবাহ-মাত্রামাপক অ্যাম্মিটার A ও একটি রিওস্ট্যাট্ R তারের সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত। উদ্ভূত তাপ তড়িৎপ্রবাহের বর্গের সমানুপাতিক দেখাইতে হইলে রিওস্ট্যাট দ্বারা নিয়ন্ত্রিত কোন তড়িৎপ্রবাহ তার দিয়া পাঠাও। ধর, ইহা I_1 অ্যাম্পীয়ার,

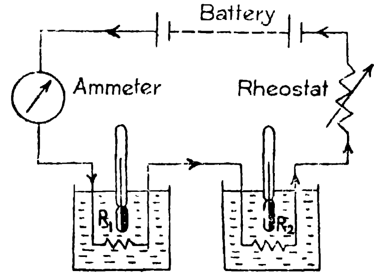
নির্দিষ্ট সময় (ধর, 10 মিনিট) ধরিয়া প্রবাহ পাঠাইবার ফলে জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি থার্মোমিটার T হইতে লক্ষ্য কর। ধর, এই তাপমাত্রা বৃদ্ধি $T_1°C$, এইবার প্রবাহ বন্ধ করিয়া জলকে আবার ঘরের তাপমাত্রায় আসিতে দাও।

অতঃপর রিওস্ট্যাট্ দ্বারা প্রবাহ-মাত্রা বদলাও। ধর, এই প্রবাহ-মাত্রা I_2; ইহাকে উপরোক্ত নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া তারের ভিতর দিয়া পাঠাইবার ফলে জলের যে তাপমাত্রা বৃদ্ধি হইল তাহা লক্ষ্য কর। ধর, ইহা $T_2°C$, জলের পরিমাণ ও ক্যালরিমিটারের ভর অপরিবর্তিত থাকায় দুই ক্ষেত্রের উদ্ভূত তাপ যদি H_1 ও H_2 ক্যালরি ধরা যায়, তবে, $\frac{H_1}{H_2}=\frac{T_1}{T_2}$

পরীক্ষার ফলে দেখা যাইবে, $\frac{T_1}{T_2}=\frac{I_1^2}{I_2^2}$; সুতরাং $\frac{H_1}{H_2}=\frac{I_1^2}{I_2^2}$

অর্থাৎ $H \propto I^2$ যখন R ও t ধ্রুবক।

(ii) **দ্বিতীয় সূত্রের পরীক্ষা:** উদ্ভূত তাপ রোধের সমানুপাতিক দেখাইতে হইলে একই ভর ও একই উপাদানের দুইটি ক্যালরিমিটারে সমপরিমাণ জল রাখিয়া R_1 ও R_2 রোধযুক্ত দুইটি রোধকুণ্ডলী উহার ভিতর ডুবাও। 4·3 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ তড়িৎ সংযোগ-ব্যবস্থা কর। এস্থলে R_1 ও R_2 শ্রেণী সমবায়ে থাকায় একই তড়িৎ-প্রবাহ দুইটি তারে প্রবাহিত হইবে। রিওস্ট্যাট্ নিয়ন্ত্রিত করিয়া কোন তড়িৎপ্রবাহ পাঠাও। কোন নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া প্রবাহ চলিবার ফলে ক্যালরিমিটার দুইটিতে জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইবে। উহা থার্মোমিটার দ্বারা পাঠ কর। মনে কর, তাপমাত্রা বৃদ্ধি $T_1°C$ ও $T_2°C$; উভয় ক্যালরিমিটারের ভর ও উহাদের জলের পরিমাণ সমান হওয়ায় উদ্ভূত তাপ H_1 ও H_2 উষ্ণতাবৃদ্ধির সমানুপাতিক হইবে।



চিত্র 4·3

অর্থাৎ, $\frac{H_1}{H_2}=\frac{T_1}{T_2}$

এই পরীক্ষার ফলে দেখা যাইবে, $\frac{R_1}{R_2}=\frac{T_1}{T_2}$, সুতরাং $\frac{H_1}{H_2}=\frac{R_1}{R_2}$

অর্থাৎ $H \propto R$ যখন I ও t ধ্রুবক।

(iii) **তৃতীয় সূত্রের পরীক্ষা:** : উদ্ভূত তাপ সময়ের সমানুপাতিক দেখাইতে হইলে প্রথম পরীক্ষায় যে ব্যবস্থা অবলম্বন করা হইয়াছিল তাহা করিতে হইবে।

রিওস্ট্যাট্ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত কোন নির্দিষ্ট প্রবাহ t_1 সেকেণ্ড ধরিয়া তারের ভিতর পাঠাও (4·2নং চিত্র)। ইহার ফলে জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি ধর, $T_1°C$ হইল। প্রবাহ বন্ধ করিয়া জল ও ক্যালরিমিটারকে ঘরের তাপমাত্রায় আসিতে দাও।

এইবার পুনরায় উক্ত প্রবাহকে ভিন্ন সময় ধরিয়া—ধর, t_2 সেকেণ্ড—তারের ভিতর পাঠাও। পুনরায় জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি লক্ষ্য কর। মনে কর, ইহা T_2°C ;

আমরা জানি, দুই ক্ষেত্রে উদ্ভূত তাপ H_1 ও H_2 হইলে, $\frac{H_1}{H_2}=\frac{T_1}{T_2}$

পরীক্ষার ফলে দেখা যাইবে $\frac{T_1}{T_2}=\frac{t_1}{t_2}$ সুতরাং $\frac{H_1}{H_2}=\frac{t_1}{t_2}$

অর্থাৎ, $H \propto t$ যখন I ও R ধ্রুবক।

Examples : (1) 10 ওহম রোধের রোধকের ভিতর দিয়া 0·8 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ মাত্রা 1 মিনিট ব্যাপী চলিলে, কত তাপ উৎপন্ন হইবে ?

উ। আমরা জানি, $H=\cdot24I^2R.t$

এস্থলে $I=0\cdot8$ অ্যাম্পীয়ার ; $R=10$ ওহম ; $t=1$ মিনিট $=60$ সেকেণ্ড

সুতরাং $H=\cdot24\times(\cdot8)^2\times10\times60$ ক্যালরি

$=\cdot24\times\cdot8\times\cdot8\times10\times60$ ক্যালরি

$=\cdot24\times8\times8\times6$ ক্যালরি $=\underline{92\cdot16}$ ক্যালরি।

(2) 10 মিনিট ব্যাপী 10 ওহ্‌ম রোধের কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হইল এবং উৎপন্ন তাপ সম্পূর্ণরূপে 100 গ্রাম জলে সরবরাহ করা হইল। জলের তাপমাত্রা 15°C হইতে 75°C বৃদ্ধি পাইলে, প্রবাহ-মাত্রা নির্ণয় কর।

উ। এস্থলে উৎপন্ন তাপ $H=$ জলের পরিমাণ $\times$ তাপমাত্রার পরিবর্তন

$=100(75-15)$ ক্যাঃ $=100\times60$ ক্যাঃ $=6000$ ক্যাঃ।

আমরা জানি, $H=\cdot24\times I^2.R.t.$ সুতরাং $6000=\cdot24\times I^2\times10\times10\times60$

$$\therefore\quad I^2=\frac{6000}{\cdot24\times10\times10\times60}=\frac{100}{24}$$

$$\text{or,}\quad I=\sqrt{\frac{100}{24}}=\underline{2\cdot04}$$ অ্যাম্পীয়ার (প্রায়)।

(3) 40 ওহম এবং 60 ওহম-এর দুইটি রোধক শ্রেণী সমবায়ে আবদ্ধ এবং ঐ সমবায় 200 ভোল্ট মেইন্‌সের সহিত যুক্ত। $\frac{1}{2}$ মিনিট সময়ে প্রতি রোধকে কত তাপ উৎপন্ন হইবে ?

উ। শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত হওয়ায় উহাদের মোট রোধ $=40+60=100$ ওহ্‌ম

সুতরাং প্রত্যেক রোধকের প্রবাহ-মাত্রা $=\frac{\text{ভোল্ট}}{\text{ওহ্‌ম}}=\frac{200}{100}=2$ অ্যাম্পীয়ার

এখন 40 ওহ্‌ম রোধকে উৎপন্ন তাপ $H_1=\cdot24\times(2)^2\times40\times30$ ক্যাঃ

$=\cdot24\times4\times40\times30$ ক্যাঃ $=\underline{1152}$ ক্যাঃ

এবং 60 ওহ্‌ম রোধকে উৎপন্ন তাপ $H_2=\cdot24\times(2)^2\times60\times30$ ক্যাঃ

$=\cdot24\times4\times60\times30$ ক্যাঃ $=1728$ ক্যাঃ।

(4) দুইটি তারের উপাদান ও ভর সমান কিন্তু একটির দৈর্ঘ্য অপরটির দ্বিগুণ। (i) সম ভোল্টেজ এবং (ii) সমপ্রবাহে ঐ দুই তারে উৎপন্ন তাপের অনুপাত নির্ণয় কর।

উ। ধর, একটি তারের দৈর্ঘ্য ও রোধ যথাক্রমে l এবং R_1; অতএব, অপর তারটির দৈর্ঘ্য $2l$ এবং ইহার প্রস্থচ্ছেদ প্রথম তারের প্রস্থচ্ছেদ অপেক্ষা অর্ধেক, কারণ, উভয়ের ভর সমান।

আবার, উভয়ের উপাদান এক হওয়ায়, তার দুইটির রোধাঙ্কও (ρ) সমান। এই অবস্থায়,

$$R_1=\rho\times\frac{l}{A} \text{ এবং } R_2=\rho\times\frac{2l}{A/2}=\rho\times\frac{4l}{A}=4R_1.$$

(i) আমরা জানি বিভব-প্রভেদ সমান থাকিলে, তাপ উৎপত্তির হার রোধের ব্যস্তানুপাতিক হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে তাপ উৎপত্তির হারের অনুপাত $=4:1$.

(ii) আমরা জানি যে প্রবাহ-মাত্রা সমান থাকিলে তাপ উৎপত্তির হার রোধের সমানুপাতিক হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে তাপ উৎপত্তির হারের অনুপাত $=1:4$.

4·5. বৈদ্যুতিক প্রণালীতে 'J'-এর মান নির্ণয় (Determination of J by electrical method)**:** যদি R ওহ্‌ম রোধের কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া I অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ t সেকেণ্ড ব্যাপিয়া চলে, তবে আমরা জানি $W=I^2R.t$ জুল।

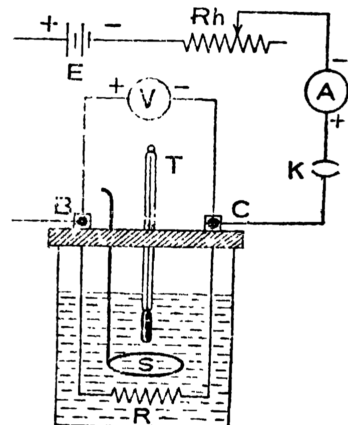
রোধের প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ V ভোল্ট হইলে, $V=I.R$; অতএব, $W=V.I.t$ জুল।

এই কার্যের ফলে তাপের সৃষ্টি হইবে। যদি H ক্যালরি তাপ সৃষ্টি হয় তবে,

$$W=J.H. \qquad [J=\text{তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক}]$$

অথবা, $V.I.t.=J.H.$ বা, $J=\dfrac{V.I.t}{H}$ জুল/ক্যালরি

সুতরাং তড়িৎপ্রবাহ (I), পরিবাহীর প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ (V), সময় (t) এবং উৎপন্ন তাপ (H) জানা থাকিলে, J-এর মান নির্ণয় করা যাইবে।



চিত্র 4·4

পরীক্ষা: পরীক্ষা-ব্যবস্থা 4·4নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। একটি নিকেল প্রলেপসহ তামার ক্যালরিমিটার লইতে হইবে। উহার মুখ একটি ইবোনাইটের ঢাকনা দ্বারা বন্ধ করা যায়। ক্যালরিমিটারকে S আলোড়ক সহ খালি অবস্থায় ওজন করিতে হইবে এবং পরে উহাতে কিছু জল লইয়া জলসহ ওজন করিতে হইবে। ইহা হইতে জলের ওজন পাওয়া যাইবে। জলের মধ্যে একটি তারের কুণ্ডলী R এবং একটি থার্মোমিটার T ঢাকনার ছিদ্র দিয়া প্রবেশ করানো আছে। একটি ব্যাটারী

E, পরিবর্তনীয় রোধক R_h, চাবি K এবং অ্যামমিটার A কুণ্ডলীর সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত আছে। কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে (B এবং C) একটি ভোল্টমিটার (V) যুক্ত আছে।

থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা লক্ষ্য করিতে হইবে। চাবি K বন্ধ করিয়া কুণ্ডলীতে প্রবাহ পাঠাও এবং আলোড়কের সাহায্যে জল ধীরে ধীরে নাড়িতে থাক। স্টপঘড়ির সাহায্যে সময় লক্ষ্য করিয়া পাঁচ মিনিট (t) পর প্রবাহ বন্ধ কর। থার্মোমিটারের সহায়তায় জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা দেখিয়া রাখ। অ্যামমিটার হইতে প্রবাহমাত্রা (I) এবং ভোল্টমিটার হইতে বিভব-প্রভেদ (V) নোট করিতে হইবে।

যদি ক্যালরিমিটারে জলসম M গ্র্যাম এবং জলের ওজন m গ্র্যাম হয় এবং তাপমাত্রা-বৃদ্ধি θ°C হয় তবে উৎপন্ন তাপ $H=(M+m)\theta$ ক্যালরি।

$$\text{অতএব,}\quad J=\frac{V.I.t}{(M+m)\theta}\ \text{জুল/ক্যালরি}$$

পরিবর্তনীয় রোধকের মান বদলাইয়া নতুন প্রবাহমাত্রা ভিন্ন সময় ধরিয়া পাঠাইয়া পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করিতে হইবে এবং উহা হইতে J-এর গড় মান নির্ধারণ করিতে হইবে।

Example ঃ 2 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ মাত্রা 3 ওহ্ম রোধের একটি তার কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া 2 মিনিট ব্যাপী পাঠানো হইল। কুণ্ডলীটি 50 গ্র্যাম জলসমযুক্ত একটি ক্যালরিমিটারে রক্ষিত 50 গ্র্যাম জলের ভিতর নিমজ্জিত ছিল। জলের তাপমাত্রাবৃদ্ধি 3·4°C হইলে, J-এর মান নির্ণয় কর।

উ। আমরা দেখিয়াছি, $J=\dfrac{V.I.t}{(M+m)\theta}=\dfrac{I^2Rt}{(M+m)\theta}$ জুল/ক্যালরি

এক্ষেত্রে, $I=2$ অ্যাম্পীয়ার; $R=3$ ওহম; $t=2\times60$ সেকেণ্ড; $M=50$ গ্র্যাম; $m=50$ গ্র্যাম এবং $\theta=3{\cdot}4$°C.

$$\text{কাজেই,}\quad J=\frac{(2)^2\times3\times2\times60}{(50+50)\times3{\cdot}4}=4{\cdot}23\ \text{জুল/ক্যালরি}$$

4.6. তড়িৎ-শক্তি ও ক্ষমতা (Electrical energy and power) ঃ

কোন তড়িৎযন্ত্রের কার্য করিবার সামর্থ্যকে উহার তড়িৎ-শক্তি বলা হয়। যেমন, কোন তড়িৎযন্ত্র যদি কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া Q-পরিমাণ তড়িৎ পাঠায় এবং পরিবাহীর প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ V হয়, তবে সম্পাদিত কার্য অর্থাৎ, তড়িৎ-শক্তি $=Q\times V$.

ব্যবহারিক একক অনুযায়ী যদি Q কুলম্বে এবং V ভোল্টে প্রকাশ করা হয় তবে সম্পাদিত কার্য বা তড়িৎ-শক্তি $=Q\times V$ জুল $=Q.V\times10^7$ আর্গ।

ক্ষমতার একক ঃ কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি শীর্ষক পরিচ্ছেদে (প্রথম ভাগ) উল্লেখ করা হইয়াছে যে, কার্য করিবার হারকে ক্ষমতা বলে। বৈদ্যুতিক যন্ত্রের ক্ষমতা **ওয়াট** (watt) নামক এককে প্রকাশ করা হয়। এক সেকেণ্ডে এক জুল কার্য করিতে পারিলে সেই ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলা হয়।

$\therefore$ 1 ওয়াট $=1$ জুল/সেকেণ্ড $=10^7$ আর্গ/সেকেণ্ড

যদি Q কুলম্ব তড়িৎ V ভোল্ট বিভব-প্রভেদ 't' সেকেণ্ড সময়ে অতিক্রম করে তবে মোট সম্পাদিত কার্য $= Q \times V$ জুল।

সুতরাং কার্যের হার বা ক্ষমতা P (ওয়াট) $= \frac{Q \times V}{t}$ জুল/সেকেণ্ড

$= I \times V$ জুল/সেকেণ্ড

$$\left[\text{কারণ, } \frac{Q}{t} = I \text{ (অ্যাম্পীয়ার)} \right]$$

সুতরাং মনে রাখিবে, **ওয়াট = অ্যাম্পীয়ার × ভোল্ট**

বড় বৈদ্যুতিক যন্ত্রের ক্ষমতা প্রকাশের জন্য সাধারণত আর একটি বড় একক ব্যবহৃত হয়। ইহাকে **কিলোওয়াট্** (Kilowatt বা kW) বলে।

1 কিলোওয়াট = 1000 ওয়াট।

শক্তির এককঃ যেহেতু সম্পাদিত কার্য = ক্ষমতা × সময়, সেইহেতু P ক্ষমতাসম্পন্ন কোন বৈদ্যুতিক যন্ত্র অবিচ্ছিন্নভাবে t সময়ব্যাপী কার্য করিলে উক্ত যন্ত্র কর্তৃক সম্পাদিত কার্যের পরিমাণ ক্ষমতা (P) ও সময়ের (t) গুণফল হইতে পাওয়া যাইবে। ইহা হইতে আমরা বৈদ্যুতিক শক্তি বা কার্যের বিভিন্ন একক গঠন করিতে পারি।

যদি 1 ওয়াট ক্ষমতা 1 সেকেণ্ড ব্যাপী কার্য করে তবে যে শক্তি ব্যয়িত হয় তাহাকে **'জুল'** (Joule) বলা হয়। অর্থাৎ, জুল = ওয়াট × সেকেণ্ড

আবার, 1 ওয়াট ক্ষমতা 1 ঘণ্টাব্যাপী কার্য করিলে যে শক্তি ব্যয়িত হয় তাহাকে ওয়াটঘণ্টা (watt-hour) বলে। অর্থাৎ, ওয়াট-ঘণ্টা = ওয়াট × ঘণ্টা

আবার, 1 ওয়াট-ঘণ্টা = 1 ওয়াট × 1 ঘণ্টা

= 1 ওয়াট × 3600 সেকেণ্ড = 3600 জুল।

বিদ্যুৎ-সরবরাহ কোম্পানি কর্তৃক বাড়িতে যে বিদ্যুৎ সরবরাহ হয় তাহার পরিমাপ শক্তির একক অনুযায়ী করা হয়। ইহাকে **কিলোওয়াট ঘণ্টা** (Kilowatt-hour সংক্ষেপে kWh) বা **বোর্ড অব্ ট্রেড একক** (B.O.T. unit) বলা হয়। এক কিলোওয়াট্-ক্ষমতাসম্পন্ন যন্ত্র একঘণ্টা ধরিয়া তড়িৎ সরবরাহ করিলে মোট শক্তির পরিমাণকে কিলোওয়াট-ঘণ্টা বলে। মনে রাখিবে,

$$\textbf{বি. ও. টি. একক} = \frac{\textbf{ওয়াট-ঘণ্টা}}{1000} = \frac{\textbf{অ্যাম্পীয়ার} \times \textbf{ভোল্ট} \times \textbf{ঘণ্টা}}{1000}$$

প্রত্যেক বাড়ির বিদ্যুৎ-সংযোগ ব্যবস্থার সহিত কোম্পানি একটি মিটার বসাইয়া দেয়। এই মিটার বি. ও. টি. একক অনুযায়ী বাড়িতে মোট তড়িৎ-শক্তি খরচের হিসাব রাখে। এই একক সাধারণ কথায় 'ইউনিট' নামে পরিচিত।

Examples ঃ (1) ভাস্বর অবস্থায় একটি বৈদ্যুতিক বাতির রোধ 400 ওহ্‌ম। ঐ বাতিটিকে 10 ঘণ্টা ব্যাপী 200 ভোল্ট বিভব-প্রভেদের সহিত যুক্ত করা হইল। প্রতি ইউনিটের ব্যয় 30 পয়সা হইলে, উহাতে মোট কত খরচ পড়িবে?

উ। এস্থলে বাতির তড়িৎপ্রবাহ $=\frac{200}{400}$ অ্যাম্পীয়ার $=\frac{1}{2}$ অ্যাম্পীয়ার

সুতরাং মোট ব্যয়িত বি. ও. টি. একক $=\frac{\text{অ্যাম্পীয়ার} \times \text{ভোল্ট} \times \text{ঘণ্টা}}{1000}$

$$=\frac{\frac{1}{2}\times 200\times 10}{1000}=1$$

সুতরাং খরচ $=30$ পয়সা।

(2) 100 ভোল্ট সরবরাহ লাইনে পৃথক ভাবে যুক্ত করিলে দুইটি বাতি যথাক্রমে 60 ওয়াট এবং 75 ওয়াট ক্ষমতা গ্রহণ করে। প্রত্যেকটি বাতির রোধ কত? এইবার বাতি দুইটি শ্রেণী সমবায়ে 200-ভোল্ট সরবরাহ লাইনের সহিত যুক্ত করিলে (*a*) উহারা মোট কত ওয়াট গ্রহণ করিবে? (*b*) 60 ঘণ্টা ব্যাপী বাতি দুইটি ব্যবহার করিলে, মোট খরচ কত পড়িবে? প্রতি ইউনিটের খরচ 25 পয়সা।

উ। আমরা জানি, ওয়াট $=$ অ্যাম্পীয়ার $\times$ ভোল্ট $=\frac{(\text{ভোল্ট})^2}{\text{ওহ্ম}}$

$$\left[\text{কারণ, অ্যাম্পীয়ার}=\frac{\text{ভোল্ট}}{\text{ওহ্ম}}\right]$$

এখন, প্রথম বাতির বেলাতে $60=\frac{(100)^2}{R_1}$ $\therefore$ $R_1=\frac{(100)^2}{60}=166\frac{2}{3}$ ওহ্ম

দ্বিতীয় বাতির বেলাতে $75=\frac{(100)^2}{R_2}$ $\therefore$ $R_2=\frac{(100)^2}{75}=133\frac{1}{3}$ ওহ্ম

যখন বাতি দুইটি শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত তখন উহাদের মোট রোধ

$$=166\tfrac{2}{3}+133\tfrac{1}{3}=300 \text{ ওহ্ম।}$$

সুতরাং 200 ভোল্ট সরবরাহ লাইনে শ্রেণী সমবায়ে লাগাইলে উহাদের প্রত্যেকের তড়িৎ-প্রবাহ $I=\frac{200}{300}=\frac{2}{3}$ অ্যাম্পীয়ার।

অতএব প্রথম বাতির ওয়াট $=$ অ্যাম্পীয়ার $\times$ ভোল্ট

$$=(\text{অ্যাম্পীয়ার})^2\times\text{ওহ্ম}=\left(\frac{2}{3}\right)^2\times 166\tfrac{2}{3}$$

দ্বিতীয় বাতির ওয়াট $=\left(\frac{2}{3}\right)^2\times 133\frac{1}{3}$

$\therefore$ মোট ওয়াট $=\left(\frac{2}{3}\right)^2\times 166\frac{2}{3}+\left(\frac{2}{3}\right)^2\times 133\frac{1}{3}=133\frac{1}{3}$ ওয়াট

সুতরাং মোট ব্যয়িত বি, ও, টি, ইউনিট $=\frac{\text{ওয়াট}\times\text{ঘণ্টা}}{1000}=\frac{133\frac{1}{3}\times 60}{1000}=8$

$\therefore$ খরচ $=8\times 25$ পয়সা $=2$ টাকা।

(3) 3 ওহম এবং 5 ওহম-এর দুইটি রোধক সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ। উহাদের সহিত কত মানের তৃতীয় একটি রোধক যুক্ত করিলে, উহারা 12 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলের উৎস হইতে 36 ওয়াট ক্ষমতা গ্রহণ করিবে? তৃতীয় রোধকটি কিভাবে যুক্ত করিতে হইবে, তাহাও উল্লেখ কর।

উ। 3 ওহম এবং 5 ওহম রোধকদ্বয় সমান্তরাল সমবায়ে থাকিলে উহাদের মোট রোধ ধরা যাউক R'; অতএব, $\frac{1}{R'}=\frac{1}{3}+\frac{1}{5}=\frac{8}{15}$ $\therefore$ $R'=\frac{15}{8}=1\cdot875$ ওহম

এখন, ক্ষমতা=বিভবপ্রভেদ × প্রবাহ-মাত্রা $=E\times I$

$$=E\times\frac{E}{R}=\frac{E^2}{R}$$ ওয়াট [R=বর্তনীর মোট রোধ]

$$36=\frac{12\times12}{R} \quad \therefore \quad R=\frac{12\times12}{36}=4$$ ওহম।

কাজেই, বর্তনীর মোট রোধ 4 ওহম হইতে হইলে, তৃতীয় রোধকটি পূর্বোক্ত সমবায়ের সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিতে হইবে। ধর, এই তৃতীয় রোধকের মান x ওহম; কাজেই, $4=1\cdot875+x$, $\quad x=4-1\cdot875=2\cdot12$ ওহম (প্রায়)।

(4) একটি গৃহে পাঁচটি 60 ওয়াট বাতি এবং তিনটি 40 ওয়াট পাখা প্রতিদিন 5 ঘণ্টা ব্যাপী চলে। 30 দিনের মাসে মোট কত খরচ হইবে নির্ণয় কর। বৈদ্যুতিক শক্তির ব্যয় প্রতি বি. ও. টি. ইউনিটে 25 পয়সা।

উ। মোট ক্ষমতা $=5\times60+3\times40=420$ ওয়াট

প্রতিদিন মোট ব্যয়িত শক্তি $=420\times5=2100$ ওয়াট-ঘণ্টা

এক মাসে ,, ,, ,, $=2100\times30=63000$ ওয়াট-ঘণ্টা

$=63$ কিলোওয়াট-ঘণ্টা (বি. ও. টি.)

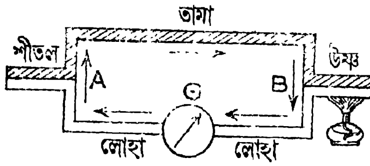
সুতরাং খরচ $=63\times25$ পয়সা = টাকা 15·75

তাপ-তড়িৎ (Thermo-electricity)

4·7 **সীবেক ক্রিয়া** (Seebeck effect): দুইটি বিভিন্ন ধাতুর দণ্ড বা তারকে পারস্পরিক দুই প্রান্তে ঝালাই দিয়া যুক্ত করিয়া একটি সংহত বর্তনী গঠন করিলে এবং সংযোগস্থল দুইটিকে বিভিন্ন তাপমাত্রায় রাখিলে দেখা যায় যে বর্তনী দিয়া একটি তড়িৎপ্রবাহ চলিতেছে। ইহা হইতে বোঝা যায় যে, বর্তনীতে একটি তড়িচ্চালক বল ক্রিয়া করিতেছে এবং এই তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তির কারণ হইতেছে তাপমাত্রার পার্থক্য।

4·5 নং চিত্রে একটি তামার দণ্ড এবং একটি লোহার দণ্ডকে A এবং B প্রান্তে ঝালাই করিয়া একটি সংহত বর্তনী দেখানো হইয়াছে। ঐ বর্তনীর মধ্যে একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার G যুক্ত করা হইয়াছে। এখন বর্তনীর B প্রান্তকে স্পিরিট ল্যাম্প বা বার্নারের সাহায্যে উত্তপ্ত করিলে এবং A প্রান্তকে শীতল রাখিলে দেখা যাইবে যে গ্যালভ্যানোমিটার কাঁটার

একটি বিক্ষেপ হইয়াছে—অর্থাৎ বর্তনী দিয়া একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে তড়িৎপ্রবাহ চলিতেছে। যদি A প্রান্ত উত্তপ্ত করিয়া B প্রান্তকে শীতল রাখা হয়, তবে বিক্ষেপ উল্টা দিকে হয়—অর্থাৎ তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া যায়।



চিত্র 4·5

কোন তড়িৎ কোষের সাহায্য ব্যতিরেকে কেবলমাত্র তাপীয় ক্রিয়ায় কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টির এই ঘটনাকে তাপতড়িৎ ঘটনা বলে। ইহা সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন সীবেক 1821 খ্রীষ্টাব্দে। এই কারণে ইহাকে **সীবেক ক্রিয়া** বলে।

উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় বর্তনীতে যে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায় তাহাকে বলা হয় **তাপ-তড়িৎ প্রবাহ** (thermo-electric current)। 4·5 নং চিত্রে প্রদর্শিত তামা ও লোহার বেলায় দেখা যায় তাপতড়িৎ প্রবাহ শীতল প্রান্তে লোহা হইতে তামাতে এবং উষ্ণ প্রান্তে তামা হইতে লোহাতে প্রবাহিত হয়। তাপতড়িৎ প্রবাহযুক্ত ধাতুযুগ্মকে **তাপ-যুগ্ম** (thermo-couple) বলা হয় এবং যে-যে ধাতু দ্বারা ঐ তাপযুগ্ম গঠিত তাহাদের নামানুসারেই উহাদের নামকরণ করা হয়। যেমন, তামা-লোহা তাপযুগ্ম; অ্যান্টিমনি-বিসমাথ তাপযুগ্ম ইত্যাদি। তাপযুগ্মের দুই সংযোগস্থলে তাপমাত্রার ব্যবধান ঘটাইলে বর্তনীতে যে তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তি হয় তাহাকে **তাপীয় তড়িচ্চালক বল** (thermo e.m.f.) বলা হয়।

বলা বাহুল্য, তাপযুগ্মের দুই সংযোগস্থলের তাপমাত্রা যদি সমান থাকে তবে কোন তড়িচ্চালক বল বা তড়িৎপ্রবাহের উৎপত্তি হয় না।

4·8 **তাপতড়িৎ সারণি** (Thermo-electric series) : পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, কোন তাপযুগ্মে উৎপন্ন তাপীয় তড়িচ্চালক বল দুইটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে; (i) তাপযুগ্ম গঠনকারী ধাতুযুগল এবং (ii) দুই সংযোগস্থলের তাপমাত্রার ব্যবধান। বিভিন্ন ধাতু লইয়া সীবেক এই ঘটনার পর্যালোচনা করেন এবং যে কোন দুইটি ধাতুর বেলায় তাপতড়িৎ প্রবাহ তথা তড়িচ্চালক বল কোন্ অভিমুখে ক্রিয়া করিবে তাহা দ্রুত নির্ণয় করিবার জন্য ধাতবপদার্থগুলির একটি সারণি প্রস্তুত করেন। এই সারণিকে বলা হয় **তাপ-তড়িৎ সারণি**। নিম্নে এই সারণির উল্লেখ করা হইল। এই সারণির যে-কোন দুইটি ধাতু লইলে ঐ তাপযুগ্মের শীতলপ্রান্ত দিয়া ক্রমিক সংখ্যা অনুযায়ী প্রথম ধাতু হইতে দ্বিতীয় ধাতুতে তড়িৎপ্রবাহ হইবে।

(i) অ্যান্টিমনি	(v) তামা
(ii) লোহা	(vi) নিকেল
(iii) দস্তা	(vii) কনস্ট্যান্টান
(iv) সীসা	(viii) বিসমাথ

যেমন, অ্যান্টিমনি এবং বিসমাথ ধাতু লইয়া তাপযুগ্ম তৈয়ারী করিলে, ঐ তাপযুগ্মের শীতল

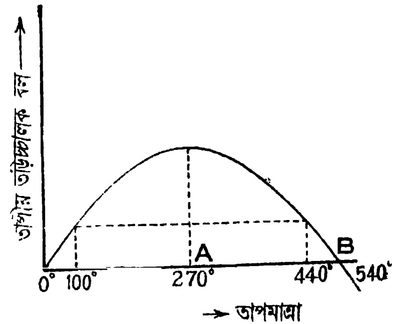
সংযোগ দিয়া অ্যান্টিমনি হইতে বিসমাথে তড়িৎপ্রবাহ হইবে ; কারণ সারণিতে ক্রমিক সংখ্যায় অ্যান্টিমনির স্থান প্রথমে এবং বিসমাথের স্থান পরে।

4·9 **তাপমাত্রা-তড়িচ্চালক বল সম্পর্ক** (Temperature-E. M. F. relation) : তাপযুগ্মের শীতল সংযোগস্থলকে 0°C তাপমাত্রায় রাখিয়া উষ্ণ সংযোগস্থলের তাপমাত্রা ক্রমশ যদি বৃদ্ধি করা যায় তবে তাপীয় তড়িচ্চালক বলও ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায়। তাপমাত্রার ব্যবধান যতক্ষণ ক্ষুদ্র থাকে ততক্ষণ তাপীয় তড়িচ্চালক বল তাপমাত্রার সমানুপাতে বৃদ্ধি পায় কিন্তু ব্যবধান বাড়িয়া গেলে, তড়িচ্চালক বল কিছুক্ষণ বৃদ্ধি পাইয়া উষ্ণ সংযোগস্থলের এক বিশেষ তাপমাত্রায় গরিষ্ঠ মান পায়। উষ্ণ সংযোগস্থলের ঐ বিশেষ তাপমাত্রাকে বলা হয় **নিরপেক্ষ তাপমাত্রা** (neutral temperature)।

নিরপেক্ষ তাপমাত্রার সংজ্ঞাস্বরূপ বলা যাইতে পারে যে, কোন তাপযুগ্মের এক সংযোগস্থল শীতল রাখিয়া অপর সংযোগস্থলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে যে-তাপমাত্রায় তাপীয় তড়িচ্চালক বল গরিষ্ঠ হইবে, তাহাকে ঐ তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা বলা হয়। কোন একটি বিশেষ যুগ্মের বেলায় এই তাপমাত্রা ধ্রুবক। ইহা যুগ্মের ধাতব পদার্থ যুগলের উপর নির্ভর করে কিন্তু শীতল সংযোগস্থলের তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না। যেমন, লোহা-তামা তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা 270°C—শীতল সংযোগস্থলের তাপমাত্রা যাহাই হউক না কেন।

তাপযুগ্মের উষ্ণ সংযোগস্থলের তাপমাত্রা যদি আরো বৃদ্ধি করা যায় তবে দেখা যায় যে তাপীয় তড়িচ্চালক বল এইবার হ্রাস পাইতেছে এবং উষ্ণ সংযোগস্থলের আর একটি বিশেষ তাপমাত্রায় তড়িচ্চালক বল শূন্য হয়। এই তাপমাত্রাকে বলা হয় **উৎক্রম তাপমাত্রা** (temperature of inversion)।

তাপমাত্রার সহিত তাপীয় তড়িচ্চালক বলের উপরোক্ত পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করিলে লেখচিত্রটি 4·6 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ একটি অধিবৃত্ত হইবে। ঐ লেখচিত্রের A বিন্দু (270°C) লোহা-তামা তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা এবং B বিন্দু উৎক্রম (540°C) তাপমাত্রা বুঝাইতেছে [যখন তাপযুগ্মের শীতলপ্রান্ত 0°C তাপমাত্রায় আছে]।



চিত্র 4·6

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে, উৎক্রম তাপমাত্রা ধ্রুবক নহে ; তাপযুগ্মের শীতল সংযোগের তাপমাত্রা নিরপেক্ষ তাপমাত্রার যত নিম্নে উৎক্রম তাপমাত্রা নিরপেক্ষ তাপমাত্রার ঠিক তত ঊর্ধ্বে। শীতল সংযোগের তাপমাত্রা 0°C হইলে, উৎক্রম তাপমাত্রা 540°C কিন্তু শীতল সংযোগের তাপমাত্রা 100°C রাখিলে ,উৎক্রম তাপমাত্রা হইবে 440°C

সাধারণভাবে, ধর, শীতল সংযোগের তাপমাত্রা $=\theta_1$; নিরপেক্ষ তাপমাত্রা θ_n এবং উৎক্রম তাপমাত্রা $=\theta_2$

এক্ষেত্রে, $\theta_n-\theta_1=\theta_2-\theta_n$ অথবা, $\theta_n=\dfrac{\theta_1+\theta_2}{2}$

তাছাড়া, উল্লেখযোগ্য যে, উষ্ণ সংযোগস্থলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিয়া উৎক্রম তাপমাত্রা ছাড়াইয়া গেলে তাপযুগ্মের তাপীয় তড়িচ্চালক বল আবার বৃদ্ধি পাইতে থাকে কিন্তু অভিমুখ উল্টাইয়া যায়. [চিত্র নং 4·6]।

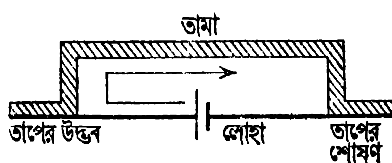
তাপমাত্রার পাল্লা খুব বেশী না হইলে, তাপমাত্রা এবং তড়িচ্চালক বলের সম্পর্ক নিম্নলিখিত-ভাবে প্রকাশ করা যায় ঃ $E=a\theta+b\theta^2$

এস্থলে, E = উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল ; a,b = তাপযুগ্মের ধ্রুবরাশি ; θ = দুই সংযোগস্থলের তাপমাত্রার পার্থক্য।

4·10 পেলটিয়ার ক্রিয়া (Peltier effect) ঃ 1834 খ্রীষ্টাব্দে পেলটিয়ার নামে একজন বিজ্ঞানী আর একটি তাপতড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কার করেন যাহাকে সীবেক ক্রিয়ার বিপরীত ঘটনা বলা যাইতে পারে। তিনি দেখিতে পান যে কোন তাপযুগ্মের সংযোগস্থলের মধ্য দিয়া ব্যাটারীর সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে প্রবাহের অভিমুখ অনুসারে এক সংযোগস্থলে তাপ শোষিত হয় এবং অন্য সংযোগস্থলে তাপ উদ্ভূত হয়—অর্থাৎ সংযোগস্থল দুইটিতে তাপমাত্রার ব্যবধান সৃষ্টি হয়। ইহাকে **পেলটিয়ার ক্রিয়া** বলে।

পেলটিয়ার ক্রিয়া এবং সীবেক ক্রিয়া একই তাপযুগ্মের বেলায় বিচার করিলে এই দুই ক্রিয়ার বৈপরীত্য পরিষ্কার বোঝা যাইবে। পূর্বের লোহা-তামা তাপযুগ্মের কথা বিবেচনা করা যাউক।

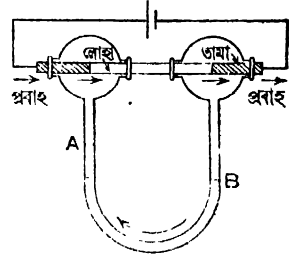
সীবেক ক্রিয়ায় আমরা দেখিয়াছি যে উপরোক্ত তাপযুগ্মের এক সংযোগস্থল উষ্ণ এবং অপর সংযোগস্থল শীতল করিলে তড়িৎপ্রবাহ শীতলপ্রান্তে লোহা হইতে তামাতে প্রবাহিত হয় [চিত্র নং 4·5]। এখন, তাপযুগ্মের উভয় সংযোগস্থল একই তাপমাত্রায় রাখিয়া একটি ব্যাটারীর [চিত্র নং 4·7] সাহায্যে সীবেক প্রবাহের অভিমুখে যদি তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো যায় তবে সীবেক ক্রিয়ার বেলায় যে সংযোগস্থল উষ্ণ ছিল এইবার সেই সংযোগস্থলে তাপের শোষণ হইবে এবং অন্য সংযোগস্থলে তাপের উদ্ভব হইবে। অথবা, যে-সংযোগস্থলে ব্যাটারী প্রদত্ত প্রবাহ লোহা হইতে তামাতে যাইবে সেই সংযোগস্থল উত্তপ্ত হইবে এবং অপর সংযোগস্থল শীতল হইবে। যদি ব্যাটারীর মেরু পরিবর্তন করিয়া প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দেওয়া যায়, তবে সংযোগস্থল দুইটিতে পেলটিয়ার ক্রিয়াও উল্টাইয়া যায়।



চিত্র 4·7

পেলটিয়ার ক্রিয়ার পরীক্ষামূলক প্রদর্শন (Experimental demonstration of Peltier effect) ঃ নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে পেলটিয়ার ক্রিয়া প্রদর্শন করানো যাইতে পারে ঃ দুইটি মোটা তামার দণ্ডের মাঝখানে একটি অনুরূপ মোটা লোহার দণ্ড ঝালাই

কর। ইহাতে তামা-লোহার দুইটি সংযোগস্থল পাওয়া যাইবে। ঐ সংযোগস্থল দুইটিকে 4·8 নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা অনুযায়ী একটি বায়ু-থার্মোমিটারের দুইটি কাচের কুণ্ডের মধ্যে প্রবেশ করাও। একটি কাচের U-নলের দুই মুখে দুইটি কুণ্ড যুক্ত করিয়া ঐ থার্মোমিটার তৈরী করা হয়। U-নলে কিছু তরল পদার্থ থাকে। একটি ব্যাটারীর সাহায্যে সংযোগস্থল দুইটির ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইবার ব্যবস্থা কর যাহাতে একটি কুণ্ডে প্রবাহ তামা হইতে লোহায় প্রবেশ করিলে অন্য কুণ্ডে লোহা হইতে তামাতে প্রবেশ করে। এই ব্যবস্থার ফলে জুল-প্রভাবের দরুন যে-তাপের উৎপত্তি হইবে তাহা দুই কুণ্ডেই সমান হইবে এবং তাহাতে U-নলের দুই বাহুর তরলস্তম্ভের লেভেলের কোন পার্থক্য হইবে না। তাছাড়া দণ্ডদ্বয় মোটা লওয়াতে এমনিতেই জুল-প্রভাবের দরুন তাপোৎপত্তি খুব সামান্য হইবে। ফলে, যদি লেভেলদ্বয়ের কোন পার্থক্য দেখা যায় তবে বুঝিতে হইবে উহা ধাতু দুইটির সংযোগস্থলে তাপতড়িৎ ক্রিয়ার জন্যই হইতেছে।



চিত্র 4·8

এখন ব্যাটারীর সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে দেখা যাইবে যে, A বাহুতে তরলস্তম্ভ B বাহু অপেক্ষা উঁচুতে উঠিয়াছে। ইহা প্রমাণ করে যে B বাহুর সংযোগস্থল (যেখানে তড়িৎপ্রবাহ লোহা হইতে তামাতে প্রবেশ করিতেছে) উত্তপ্ত হইয়াছে এবং অন্য সংযোগস্থল শীতল হইয়াছে, কারণ ঐ কুণ্ডের বায়ু উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হইয়াছে এবং B তরলস্তম্ভের উপর চাপ দিয়া উহাকে নীচে নামাইয়া দিয়াছে। ফলে, A বাহুর তরলস্তম্ভ ঊর্ধ্বে উঠিয়াছে।

ব্যাটারীর মেরুদ্বয় উল্টাইয়া তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলে, A বাহুর তরলস্তম্ভ নীচে নামিয়া যাইবে এবং B বাহুর তরলস্তম্ভ উঁচুতে উঠিবে। ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে পেলটিয়ার ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক (reversible)।

4·11 পেলটিয়ার ক্রিয়া এবং জুল ক্রিয়ার পার্থক্য (Distinction between Peltier effect and Joule effect)ঃ পেলটিয়ার এবং জুল—উভয় ক্রিয়াই তড়িৎপ্রবাহের দ্বারা তাপের উৎপত্তির সহিত সম্পর্কযুক্ত হইলেও, এই দুই ফল সম্পূর্ণ ভিন্ন। ইহাদের মধ্যে নিম্নলিখিত পার্থক্য উল্লেখযোগ্য ঃ

(i) পেলটিয়ার ক্রিয়ায় তাপের উদ্ভব এবং শোষণ একসঙ্গে হয় কিন্তু জুল-ক্রিয়ায় শুধু তাপের উদ্ভব হয়; তাপের শোষণ হয় না।

(ii) জুল ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক নহে; অর্থাৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলে পরিবাহী শীতল হয় না, উষ্ণই থাকে; কিন্তু পেলটিয়ার ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক।

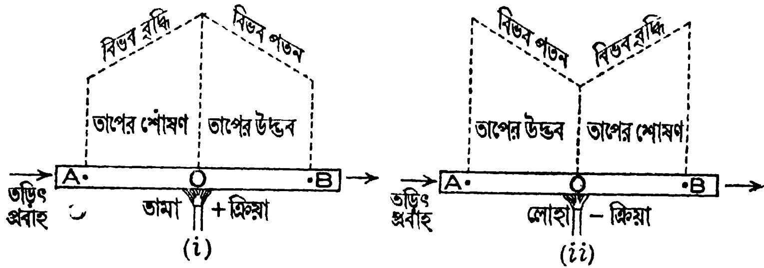
(iii) জুল ক্রিয়া পরিবাহীর সর্বত্র দেখা যায় কিন্তু পেলটিয়ার ক্রিয়া কেবলমাত্র সংযোগস্থলেই সীমাবদ্ধ।

(iv) জুল ক্রিয়ায় উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের উপর নির্ভরশীল; কিন্তু পেলটিয়ার ক্রিয়ায় পরিবাহীর রোধের কোন প্রভাব নাই।

(v) জুল-ক্রিয়ায় উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক ; কিন্তু পেলটিয়ার ক্রিয়ায় সংযোগস্থলে উদ্ভূত বা শোষিত তাপ প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক।

4·12 **টমসন ক্রিয়া** (Thomson effect) : 1856 খ্রীষ্টাব্দে টমসন বলেন যে, কোন তাপযুগ্মে তড়িৎপ্রবাহ গেলে শুধু যে উহার দুই সংযোগস্থলে তাপের শোষণ ও উদ্ভব হয় তাহা নয়, তাপযুগ্মের যে কোন ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর অথবা দুই ধাতবদণ্ডেরই দৈর্ঘ্য বরাবর তাপের শোষণ বা উদ্ভব হয়, কারণ প্রতিটি দণ্ডের দুই প্রান্তের তাপমাত্রা সমান নয়। অর্থাৎ অসমভাবে উত্তপ্ত কোন সমসত্ত্ব পরিবাহীতে তাপের শোষণ অথবা উদ্ভব হইবে। ইহাকেই **টমসন ক্রিয়া** বলে। তিনি আরো বলিয়াছিলেন যে, এই ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক।

ব্যাখ্যা : ধর, একটি মোটা তামার দণ্ড AB লইয়া উহার মধ্যস্থল O উত্তপ্ত করা হইল এবং প্রান্তদ্বয়কে বরফের সাহায্যে 0°C তাপমাত্রায় রাখা হইল [চিত্র 4·9 (i)]। যদি দণ্ড দিয়া কোন তড়িৎপ্রবাহ না যায় তবে ধাতুর পরিবাহিতার জন্য তাপ সমভাবে দৈর্ঘ্য বরাবর দুই প্রান্তের দিকে ছড়াইয়া পড়িবে এবং O বিন্দু হইতে দণ্ডের দুই অর্ধে সমদূরবর্তী দুই বিন্দু A এবং



চিত্র 4·9

B-এর তাপমাত্রা সমান হইবে। কিন্তু দণ্ড বরাবর যদি তীরচিহ্নের দিকে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো যায় তবে দেখা যায় যে A বিন্দুর তাপমাত্রা B বিন্দুর তাপমাত্রা অপেক্ষা কম হইয়াছে অর্থাৎ A হইতে O পর্যন্ত দণ্ড বরাবর তাপের শোষণ এবং O হইতে B পর্যন্ত তাপের উদ্ভব হইয়াছে। ইহাকে **ধনাত্মক** টমসন ক্রিয়া বলা হয়। তামার ন্যায়, দস্তা, রূপা, অ্যান্টিমনি, ক্যাড-মিয়াম প্রভৃতি ধাতুতেও ধনাত্মক টমসন ক্রিয়া দেখা যায়। সুতরাং ধনাত্মক টমসন ক্রিয়া বলিতে আমরা বুঝি যে কোন সমসত্ত্ব ধাতবদণ্ডে যখন তড়িৎপ্রবাহ নিম্নতাপমাত্রা বিন্দু হইতে উচ্চ তাপমাত্রা-বিন্দুর অভিমুখে যায় তখন তাপের শোষণ হয় এবং উচ্চ তাপমাত্রাবিন্দু হইতে নিম্নতাপমাত্রা বিন্দুর দিকে গেলে তাপের উদ্ভব হয়। বলা বাহুল্য, তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখে উল্টাইয়া দিলে ক্রিয়াও উল্টা হইবে।

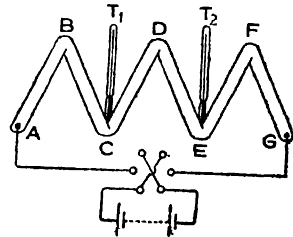
এইবার একটি মোটা লৌহদণ্ডের কথা বিবেচনা করা যাউক। অনুরূপভাবে দণ্ডের মধ্যস্থল O উত্তপ্ত করিয়া এবং প্রান্তদ্বয় শীতল রাখিয়া তীরচিহ্নের দিকে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে দেখা যাইবে যে A বিন্দুর তাপমাত্রা B বিন্দু অপেক্ষা বেশী হইয়াছে [চিত্র 4·9(ii)] অর্থাৎ এইবার A হইতে O পর্যন্ত তাপের উদ্ভব এবং O হইতে B পর্যন্ত তাপের শোষণ হইয়াছে। ইহাকে **ঋণাত্মক**

টমসন ক্রিয়া বলে। লোহার ন্যায় প্লাটিনাম, কোবাল্ট, বিসমাথ, নিকেল প্রভৃতি ধাতুতেও ঋণাত্মক টমসন ক্রিয়া দেখা যায়। সুতরাং ঋণাত্মক টমসন ক্রিয়া বলিতে আমরা বুঝি যে, কোন সমসত্ত্ব ধাতবদণ্ডে যখন তড়িৎপ্রবাহ নিম্নতাপমাত্রা বিন্দু হইতে উচ্চ তাপমাত্রা বিন্দু অভিমুখে যায় তখন তাপের উদ্ভব হয় এবং উচ্চ তাপমাত্রা বিন্দু হইতে নিম্নতাপমাত্রা বিন্দুর দিকে গেলে তাপের শোষণ হয়। এক্ষেত্রেও, তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলে ক্রিয়াও উল্টা হইবে।

একথা উল্লেখযোগ্য যে, **সীসাতে কোন টমসন ক্রিয়া হয় না**। একটি সীসা দণ্ড লইয়া উহার মধ্যস্থল উত্তপ্ত করিলে এবং শীতল প্রান্ত হইতে উত্তপ্ত প্রান্তের দিকে বা উত্তপ্ত প্রান্ত হইতে শীতল প্রান্তের দিকে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে কোন তাপের উদ্ভব বা শোষণ হয় না। এই কারণে কোন বিশেষ ধাতুর তাপতড়িৎ বৈশিষ্ট্য পর্যালোচনার জন্য সর্বদা ঐ ধাতু এবং সীসা লইয়া তাপযুগ্ম তৈরী করা হয়।

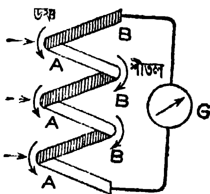
টমসন ক্রিয়ার পরীক্ষামূলক প্রদর্শন (Experimental demonstration of Thomson effect): একটি মোটা লোহার পাতকে আঁকাবাঁকাভাবে বাঁকাইয়া 4·10 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ আকৃতি দেওয়া হইল। পাতের দুই মুক্ত প্রান্ত A এবং G একটি কমুটেটর-এর মাধ্যমে ব্যাটারীর সহিত যুক্ত আছে। D বিন্দুকে উত্তপ্ত করা হইল এবং B ও F বিন্দুদ্বয়কে সমানভাবে শীতল রাখা হইল। C এবং E বিন্দুতে গর্ত করিয়া দুইটি থার্মোমিটার T_1 এবং T_2 ঢুকানো আছে। তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইবার আগে পরিবহনের দরুন তাপ উভয়দিকে সমভাবে বাহিত হইল এবং থার্মোমিটারদ্বয় সমান তাপমাত্রা প্রদর্শন করিল।

এখন A হইতে G অভিমুখে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইয়া দেখা গেল যে T_1 থার্মোমিটার T_2 থার্মোমিটার অপেক্ষা বেশী তাপমাত্রা প্রদর্শন করিতেছে। কমুটেটরের সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া G হইতে A অভিমুখী করিলে টমসন ক্রিয়াও উল্টা হয় এবং T_2 থার্মোমিটার T_1 থার্মোমিটার অপেক্ষা বেশী তাপমাত্রা প্রদর্শন করে।



চিত্র 4·10

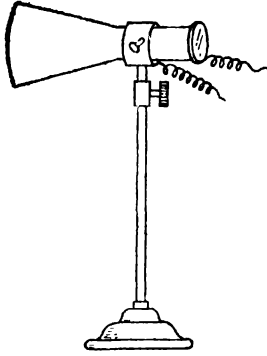
4·13 তাপতড়িৎ ক্রিয়ার প্রয়োগ: থার্মোপাইল (Application of thermo-electric effect : Thermopile)



চিত্র 4·11

কতকগুলি অ্যান্টিমনি (A) ও বিসমাথ (B) দণ্ডের সাহায্যে শ্রেণীবদ্ধভাবে কয়েকটি তাপযুগ্ম দ্বারা থার্মোপাইল তৈরী করা হয়। প্রতি তাপযুগ্মের উত্তপ্ত সংযোগ বিকিরণমুখী (এই যন্ত্র তাপ-বিকিরণ পরিমাপের জন্য ব্যবহৃত হয়) করা হয় এবং শীতল সংযোগগুলিকে বিকিরণ হইতে আড়াল করিয়া রাখা হয় [চিত্র নং 4·11]। পাইল বা স্তূপের দুই মুক্ত প্রান্তের ভিতর একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার G যুক্ত থাকে। এখন উত্তপ্ত সংযোগে বিকিরণ আসিয়া পড়িলে তাপযুগ্মের দুই সংযোগের

তাপমাত্রার পার্থক্য সৃষ্টি হয় এবং উত্তপ্ত সংযোগে বিসমাথ হইতে অ্যান্টিমনির দিকে তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। ইহাতে গ্যালভ্যানোমিটার কাঁটার যে-বিক্ষেপ হয় তাহা দ্বারা বিকীর্ণ তাপের তীব্রতা পরিমাপ করা হয়।



চিত্র 4·12

কার্যক্ষেত্রে ব্যবহৃত উন্নত ধরনের থার্মোপাইলে বহু-সংখ্যক তাপযুগ্ম ব্যবহার করা হয়। অ্যান্টিমনি ও বিসমাথ দণ্ডগুলিকে পর পর রাখিয়া একটি ঘনকের (cube) আকারে সাজানো হয় এবং সমগ্র উত্তপ্ত সংযোগগুলি একমুখী করিয়া শীতল সংযোগগুলিকে বিপরীতমুখী রাখা হয়। সংযোগগুলি ঝালাই করিয়া আটকানো হয় এবং প্রত্যেক স্তরের তলায় অভ্রের পাত রাখিয়া সরাসরি বৈদ্যুতিক সংযোগ বিচ্ছিন্ন করা হয়। উত্তপ্ত সংযোগগুলির মুখ ভুষাকালি মাখাইয়া কালো করা হয় যাহাতে ঐ মুখে বিকীর্ণ তাপ আসিয়া পড়িলে উহা পরিপূর্ণভাবে শোষিত হয়। শীতল সংযোগগুলি একটি ধাতব টুপী দ্বারা আবৃত রাখা হয় এবং উত্তপ্ত সংযোগের মুখ শঙ্কু আকারের ধাতব আধারে আবদ্ধ থাকে [চিত্র নং 4·12]।

Exercises

1. তড়িৎ-প্রবাহের দরুন উৎপন্ন তাপ সংক্রান্ত জুলের সূত্র প্রতিষ্ঠা কর। ঐ সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ করিবে কিরূপে? প্রতিক্ষেত্রে পরিষ্কার চিত্র আঁক।

[*cf. H. S. Exam. 1962*]

2. 10-ওহম তারের ভিতর দিয়া 2 মিনিট ব্যাপী 5 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ গেল। উৎপন্ন তাপ সম্পূর্ণরূপে 100 গ্রাম জলে সরবরাহ করা হইল। জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি কত হইবে?

[Ans. 72°C]

3. সমান্তরালভাবে সংযুক্ত দুইটি তারের প্রান্তে 2 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল এবং 0·4 ওহম আভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ লাগানো হইল। তার দুইটির রোধ 3 ওহম এবং 7 ওহম্ হইলে, উহাতে উৎপন্ন তাপের অনুপাত নির্ণয় কর। [Ans. 7:3]

4. 'জুল, ওয়াট, কিলোওয়াট-ঘণ্টা' কাহাকে বলে ব্যাখ্যা কর। একটি বৈদ্যুতিক বাতির উপর '230 ভোল্ট—60 ওয়াট' কথা লেখা আছে। ইহার তাৎপর্য কি?

5. ভাস্বর অবস্থায় একটি '80 ওয়াট—120 ভোল্ট' বৈদ্যুতিক বাতির রোধ নির্ণয় কর।

[Ans. 180 ওহম্]

6. 80 ওহম্ এবং 120 ওহম্ রোধের দুইটি তারকে 100 ভোল্ট সরবরাহ লাইনের সহিত (i) শ্রেণী সমবায় এবং (ii) সমান্তরাল সমবায় যুক্ত করা হইল। প্রতি ক্ষেত্রে প্রতি তার কর্তৃক গৃহীত ক্ষমতা নির্ণয় কর। [Ans. (i) 20 ওয়াট, 30 ওয়াট (ii) 125 ওয়াট, 83·3 ওয়াট]

7. উত্তপ্ত অবস্থায় একটি বৈদ্যুতিক ইস্তিরীর রোধ 80 ওহম্; উহাকে দুই ঘণ্টা ব্যাপী 200 ভোল্ট লাইনে যুক্ত রাখিলে খরচ কত হইবে? প্রতি ইউনিটের মূল্য 36 পয়সা।

[Ans. 36 পয়সা]

8. 400 ওয়াট বৈদ্যুতিক বাতিকে 200 ভোল্ট সরবরাহ লাইনে যুক্ত করিলে বাতি দিয়া কত প্রবাহ যাইবে? উহার রোধ কত? বাতি 100 ঘণ্টা ব্যবহার করিলে মোট খরচ কত হইবে? প্রতি ইউনিটের খরচ 25 পয়সা।

[Ans. 2 অ্যাম্পীয়ার; 100 ওহম্; 10 টাকা]

9. সমদৈর্ঘ্যের দুইটি একই প্রকার তারের ব্যাসের অনুপাত 1:2 এবং উহারা শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত। উহাদের ভিতর দিয়া কিছু সময় ব্যাপী কোন স্থির তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে উৎপন্ন তাপের তুলনা কর।

[*H. S. Exam. 1962*] [Ans. 4:1]

10. একটি বৈদ্যুতিক স্টোভের রোধ 55 ওহম্ এবং উহা 220 ভোল্ট মেইন্‌স্-এর সঙ্গে যুক্ত আছে। ঐ স্টোভ দ্বারা 1 কিলোগ্রাম জলের তাপমাত্রা 34°C হইতে বৃদ্ধি করিয়া 100°C করিতে কত সময় লাগিবে?

[Ans. 5মিনিট 12 সেকেণ্ড (প্রায়)]

11. 10 ওহম্ রোধের একটি উত্তাপ-কুণ্ডলী 0°C তাপমাত্রার 40 গ্রাম জলে ডুবানো আছে। ঐ জল যে-পাত্রে রাখা আছে সেই পাত্রের জলসম 10 গ্রাম; ঐ কুণ্ডলী একটি ব্যাটারীর সহিত যুক্ত এবং কুণ্ডলীর প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ 25 ভোল্ট। কতক্ষণ পরে জল ফুটিতে সুরু করিবে? [$J=4\cdot2$ জুল ক্যালরি]

[Ans. 5 মিনিট 36 সেকেণ্ড]

12. একটি 110 ভোল্ট, 500 ওয়াট হিটারকে 220 ভোল্ট মেইন্‌স্-এ ব্যবহার করিতে হইবে। হিটারের সহিত শ্রেণী সমবায়ে কত রোধ লাগাইতে হইবে?

[Ans. 24·2 ওহম্]

13. 0·5 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহবাহী একটি তার বরফ ক্যালরিমিটারে ডুবানো আছে এবং প্রতি মিনিটে 1 গ্রাম বরফ গলাইতেছে। তারটির রোধ ওহমে নির্ণয় কর। বরফ গলনের লীন-তাপ=80 ক্যালরি গ্রাম।

[Ans. 22·2 ওহম্]

14. 10 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ 20 ওহম রোধের ভিতর দিয়া 5 মিনিট ব্যাপী প্রবাহিত হইল। (a) কুলম্ব এককে যে পরিমাণ তড়িতাধান প্রবাহিত হইল, (b) জুল এককে যে পরিমাণ শক্তি ব্যয়িত হইল, (c) ক্যালরি এককে যে-পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হইল তাহা নির্ণয় কর।

[Ans. (a) 3000 কুলম্ব, (b) 6×10^5 জুল, (c) 1.44×10^5 ক্যালরি।]

15. একটি বৈদ্যুতিক রেফ্রিজারেটার চালাইবার জন্য 120 ওয়াট মোটর ব্যবহার করা হইল। মোটরটি যদি দিনের $\frac{1}{3}$ সময় ব্যাপী চলে, তবে 30 দিনের মাসে মোট ব্যয় কত হইবে? বৈদ্যুতিক শক্তির মূল্য প্রতি কিলোওয়াট ঘণ্টাতে 8 পয়সা।

[*H. S. Exam. 1967*] [Ans. 2 টাকা 30 পয়সা]

একটি হোস্টেলে 180 জন আবাসিক আছে। প্রত্যেক আবাসিক প্রতিদিন 5 ঘণ্টা 60 ওয়াট বৈদ্যুতিক বাতি জ্বালায়। 30 দিনের মাসে যে পরিমাণ বিদ্যুৎশক্তি লাগিবে তাহার দরুন বিল কত হইবে? প্রতি ইউনিট শক্তির ব্যয় 25 পয়সা।

[Ans. 405 টাকা]

17. একটি বাড়িতে দশটি 40 -ওয়াট বাতি, এবং তিনটি 100-ওয়াট পাখা আছে। ঐগুলি দৈনিক গড়ে 5 ঘণ্টা চলে। 30 দিন ঐ বাতি ও পাখা চালাইতে মোট ব্যয় কত হইবে? তড়িৎ-শক্তির খরচা প্রতি বি, ও টি, এককে 20 পয়সা। [Ans. 21 টাকা]

18. তাপীয় শক্তি এবং বৈদ্যুতিক শক্তির ভিতর সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করিয়া তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করিবার নীতি ব্যাখ্যা কর। প্রয়োজনীয় পরীক্ষা-ব্যবস্থার বর্ণনা দাও।

[*H. S. Exam. 1967*]

19. সীবেক ক্রিয়া এবং পেলটিয়ার ক্রিয়ার ব্যাখ্যা কর। জুল ক্রিয়া জনিত তাপ এবং পেলটিয়ার ক্রিয়াজনিত তাপের মধ্যে পার্থক্য কি?

20. সীবেক ক্রিয়া, পেলটিয়ার ক্রিয়া এবং টমসন ক্রিয়া কাহাকে বলে?

21. তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা এবং উৎক্রম তাপমাত্রা বলিতে কি বোঝ? পেলটিয়ার ক্রিয়া বর্ণনা কর এবং উহা কিরূপে প্রদর্শন করানো যায় তাহা বর্ণনা কর।

22. তাপতড়িৎ বিষয়ে পেলটিয়ার এবং টমসন ক্রিয়া কাহাকে বলে? এই দুই ক্রিয়া পরীক্ষামূলকভাবে কিরূপে প্রদর্শন করিবে? থার্মোপাইল কি? ইহা বর্ণনা কর। ইহা কি কাজে লাগে?

তড়িৎপ্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া ও তড়িৎ-বিশ্লেষণ

(Chemical effect of current and electrolysis)

5·1 **সূচনা** ঃ যখন তার দিয়া বা ঐরূপ কোন কঠিন পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ ঘটে তখন পরিবাহী উত্তপ্ত হইয়া পড়ে কিন্তু উহার কোন রাসায়নিক পরিবর্তন দেখা যায় না। যেমন, তামার তার দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে তাপের সৃষ্টি হইবে এবং তার উত্তপ্ত হইবে। কিন্তু তামার কোন রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটিবে না। তরল পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ গেলে অন্য রকম ঘটনা ঘটে। যেমন, কোন ক্ষারক (base), অম্ল (acid) বা লবণের (salt) দ্রবণের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে একটি রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটিতে দেখা যায়, যাহার ফলে দ্রাব পদার্থের (solute substance) অণুগুলি বিশ্লিষ্ট হইয়া পড়ে। এই ঘটনাকে তড়িৎপ্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া বলা হয়। ধাতু-নিষ্কাশন, তড়িৎ প্রলেপন, প্রভৃতি নানাপ্রকার শিল্পকর্মে এই ঘটনার ব্যাপক ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখা যায়।

5·2 **কয়েকটি প্রয়োজনীয় রাশি** (Some important terms) :

(i) **আয়ন** (Ion) : কোন অণু, পরমাণু অথবা মূলক (radical)-এ যদি স্বাভাবিক সংখ্যার ইলেকট্রন অপেক্ষা বেশী বা কম ইলেকট্রন থাকে তবে উহাদের বলা হয় আয়ন। যদি ইলেকট্রন সংখ্যা স্বাভাবিক অপেক্ষা বেশী থাকে তবে উহাতে ঋণাত্মক তড়িতের প্রকাশ হইবে এবং সেই কারণে উহাকে বলা হইবে ঋণাত্মক আয়ন (negative ion)। আবার ইলেকট্রনের সংখ্যা স্বাভাবিক অপেক্ষা কম হইলে, উহাতে ধনাত্মক তড়িতের প্রকাশ হইবে এবং সেই কারণে উহাকে ধনাত্মক আয়ন (positive ion) বলা হইবে। একথা মনে রাখা প্রয়োজন যে স্বাভাবিক অবস্থায় পরমাণু বা অণু প্রভৃতিতে ইলেকট্রনের মোট ঋণাত্মক তড়িৎ উহার কেন্দ্রকে অবস্থিত মোট ধনাত্মক তড়িতের সমান —অর্থাৎ উহা নিস্তড়িৎ।

(ii) **তড়িৎ-বিশ্লেষ্য** (Electrolyte) ঃ যে তরলের ভিতর দিয়া ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আয়নের সহায়তায় তড়িৎপ্রবাহ চালু থাকে তাহাকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বলা হয়। যেমন, তুঁতের দ্রবণ (copper sulphate solution), সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ, ঈষৎ অম্লযুক্ত জল প্রভৃতি ভাল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য। আবার চিনির দ্রবণ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য নয়। সাধারণভাবে তেল বা বিশুদ্ধ জল তড়িৎ-পরিবাহী নয়। **পারদ তরল হইলেও ইহাকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বলিয়া গণ্য করা হয় না**। ক্ষারক, লবণ এবং অম্লের দ্রবণ সাধারণভাবে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য।

(iii) **তড়িৎ-বিশ্লেষণ** (Electrolysis) ঃ দ্রবণের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ হইলে, দ্রাব পদার্থের অণুগুলির বিশ্লেষণের ফলে দ্রবণে যে রাসায়নিক ক্রিয়া দেখা যায় তাহাকে তড়িৎ-বিশ্লেষণ বলে।

(iv) **তড়িৎ-দ্বার** (Electrodes) ঃ **যে-দুইটি পরিবাহীর সাহায্যে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর তড়িৎপ্রবাহ প্রবেশ করে এবং তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হইতে প্রবাহ নিষ্ক্রান্ত হয় তাহাদের**

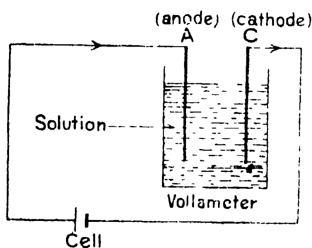
তড়িৎ-দ্বার বলা হয়। যে তড়িৎ-দ্বারের মাধ্যমে প্রবাহ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যে প্রবেশ করে তাহাকে বলা হয় **অ্যানোড** (anode) এবং যে-দ্বারের মাধ্যমে প্রবাহ নিষ্ক্রান্ত হয় তাহাকে বলা হয় **ক্যাথোড** (cathode)।

(v) **তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ** (Eletrolytic cell)ঃ যে পাত্রে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, তড়িদ্দ্বার প্রভৃতি রাখিয়া তড়িৎ বিশ্লেষণ করা হয় তাহাকে তড়িৎ বিশ্লেষক কোষ বলা হয়।

[দ্রঃ তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষকে অনেক সময় 'ভোল্টামিটার' (voltameter) এই নামে অভিহিত করা হয়। এই সম্পর্কে ভোল্টমিটারের (voltmeter) সহিত ইহার পার্থক্য লক্ষণীয়।]

5·3 **তড়িৎ-বিশ্লেষণের কয়েকটি উদাহরণ** (Some illustrations of electrolysis) :

(i) **তুঁতের দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষণ** (Electrolysis of copper sulphate solution)ঃ একটি কাচের পাত্রে খানিকটা তুঁতের দ্রবণ লও এবং উহাতে কয়েক-ফোঁটা সালফিউরিক অ্যাসিড মিশাও। দ্রবণের ভিতর দুইটি তামার পাত ডুবাইয়া পাত দুইটির সহিত একটি তড়িৎ-কোষ যুক্ত কর। C-পাত ডুবাইবার পূর্বে উহাকে পরিষ্কার করিয়া ওজন লও। এইবার কিছুক্ষণ যাবৎ তড়িৎ-কোষ হইতে দ্রবণের ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাও। এখানে A-পাত অ্যানোড এবং C-পাত ক্যাথোড (5·1 নং চিত্র)। কিছুক্ষণ পরে, C-পাত তুলিয়া শুষ্ক কর ও ওজন লও। দেখিবে উহার ওজন বৃদ্ধি পাইয়াছে।



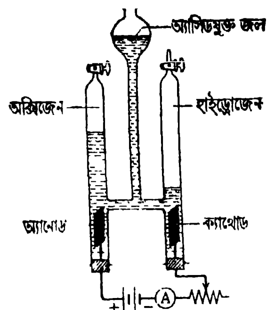
চিত্র 5·1

এক্ষেত্রে তুঁতের দ্রবণের প্রতি অণু Cu^{++} এবং SO_4^{--} আয়নে বিশ্লিষ্ট হইবে। Cu^{++} আয়ন ক্যাথোডের দিকে অগ্রসর হইয়া তামার অণুরূপে ঐপাতে জমা হইবে। SO_4^{--} আয়ন অ্যানোডের দিকে অগ্রসর হইয়া অ্যানোড পাতের Cu অণুর সহিত বিক্রিয়া করিয়া $CuSO_4$ অণু সৃষ্টি করিবে এবং ঐ অণু দ্রবণে দ্রবীভূত হইয়া দ্রবণের ঘনত্ব ঠিক রাখিবে। সুতরাং মোট ফল হইল এই যে, অ্যানোড হইতে তামা ক্যাথোডে জমা হইল। ফলে অ্যানোডের ওজন কমিবে এবং ক্যাথোডের ওজন বৃদ্ধি পাইবে।

যদি তড়িৎ-দ্বার তামার পরিবর্তে অন্য কোন নিষ্ক্রিয় ধাতুর তৈয়ারী হয় তবে ক্যাথোডে পূর্বের মত তামার অণু জমা হইবে কিন্তু SO_4^{--} আয়ন জলের H_2 অণুর সংযোগে H_2SO_4 অ্যাসিড তৈয়ারী করিবে এবং O_2 গ্যাস বিমুক্ত করিবে। সুতরাং দ্রবণের ঘনত্ব ক্রমশ কমিয়া যাইবে।

ঠিক অনুরূপভাবে রূপার তড়িৎ-দ্বারের সাহায্যে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষণ করিলে, অ্যানোড হইতে রূপা ক্যাথোডে জমা হইবে।

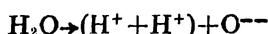
(ii) **জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ** (Electrolysis of water)**ঃ** জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ দেখাইবার জন্য অধ্যাপক হফম্যান একটি সুবিধাজনক যন্ত্র নির্মাণ করেন। এই যন্ত্রে আয়তনে দাগ কাটা প্যাঁচকল সহ দুইটি কাচনল লওয়া হয় এবং উহাদের ভিতর প্লাটিনাম নির্মিত দুইটি তড়িদ্দ্বার প্রবেশ করানো থাকে [চিত্র নং 5·2]। নল দুইটিকে যুক্ত করিয়া নীচের দিকে আর একটি অনুভূমিক নল থাকে। ঐ অনুভূমিক নলের সহিত আবার আর একটি উল্লম্ব নল যুক্ত থাকে এবং নলের মাথায় একটি জলাধার থাকে।



চিত্র 5·2

প্রথমে প্যাঁচকল দুইটি খুলিয়া জলাধারে অ্যাসিডযুক্ত জল ঢালিতে হইবে যতক্ষণ না দাগকাটা নল দুইটি জলপূর্ণ হয়। অতঃপর প্যাঁচকল বন্ধ করিয়া ব্যাটারীর সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইতে হইবে। তড়িদ্দ্বার হইতে বুদ্‌বুদ্ উঠিতে থাকিবে এবং দাগকাটা নল হইতে জল ধীরে ধীরে নামিয়া আসিবে। যখন নলে যথেষ্ট পরিমাণ গ্যাস জমা হইবে তখন তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ করিয়া দিতে হইবে। দেখা যাইবে একটি নলে অপরটি অপেক্ষা প্রায় দ্বিগুণ গ্যাস জমা হইয়াছে। রাসায়নিক পরীক্ষায় প্রমাণিত হইবে যে কম আয়তনের গ্যাসটি অক্সিজেন এবং দ্বিগুণ আয়তনের গ্যাসটি হাইড্রোজেন।

এক্ষেত্রে জলের প্রতি অণু তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন পরমাণুতে বিশ্লিষ্ট হয় এবং উহারা পরে গ্যাসের আকারে নলে জমা হয়। হাইড্রোজেন আয়ন ধনাত্মক বলিয়া ক্যাথোডে এবং অক্সিজেন আয়ন ঋণাত্মক বলিয়া অ্যানোডে জমা হয়।



$$H_2O \rightarrow (H^+ + H^+) + O^{--}$$

জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ হইতে আমরা ইহাও জানিতে পারি, আয়তনের হিসাবে একভাগ অক্সিজেন ও দুইভাগ হাইড্রোজেন গ্যাসের সংমিশ্রণে জল তৈয়ারী হয়।

5·4. তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে তড়িৎ-বর্তনীর মেরু পরীক্ষা (Testing of polarity of an electric circuit by electrolysis) ঃ

ধর, ডি, সি, মেইন্‌স্ (mains) হইতে যে দুইটি তার আসিয়াছে তাহার কোন্‌টি ধনাত্মক এবং কোন্‌টি ঋণাত্মক তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে ইহা খুব সহজেই করা যায়।

একটি কাচের পাত্রে কিছু জল লও এবং তার দুইটি ঐ জলে ডুবাও। লক্ষ্য করিতে হইবে, তারের দুই প্রান্ত যেন ঠেকিয়া না যায়—ঠেকিয়া গেলে সংক্ষেপ সংযোগের ফলে সমস্ত লাইন নষ্ট হইয়া যাইতে পারে। এই অবস্থায় দেখা যাইবে, একটি তার বাহিয়া প্রচুর পরিমাণ গ্যাসের বুদ্‌বুদ্ উঠিতেছে। উহা হাইড্রোজেন এবং ঐ তারটি ঋণাত্মক মেরুযুক্ত। কারণ, আমরা জানি জলের বিশ্লেষণের ফলে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন এবং অ্যানোডে অক্সিজেন জমা হয়।

এবং কোন নির্দিষ্ট অবকাশে মুক্ত হাইড্রোজেনের আয়তন অক্সিজেন অপেক্ষা দ্বিগুণ। এইভাবে কোন বর্তনীর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মেরু নির্ণয় করা যায়।

5·5. **তড়িৎ বিশ্লেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের সূত্রাবলী** (Faraday's laws of electrolysis) :

1833 খ্রীষ্টাব্দে ফ্যারাডে তড়িৎ-বিশ্লেষণ সম্পর্কিত কয়েকটি পরিমাণমূলক পরীক্ষা করেন এবং দুইটি সূত্রের প্রতিষ্ঠা করেন। ইহাদের তড়িৎ-বিশ্লেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের সূত্রাবলী বলা হয়।

প্রথম সূত্র ঃ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হয় মুক্ত আয়নের, ভর উহার সমানুপাতিক।

[The mass of ion liberated is proportional to the quantity of electricity that flows through the electrolyte.]

দ্বিতীয় সূত্র ঃ সমপরিমাণ তড়িৎ বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইলে বিভিন্ন তড়িৎ-দ্বারে মুক্ত আয়নের ভর উহাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক হয়।

[When the same quantity of electricity passes through different electrolytes, the masses of ions liberated at different electrodes are proportional to their chemical equivalents.]

প্রথম সূত্রের আলোচনা ঃ ধর, কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া I অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ t সেকেণ্ড ধরিয়া চলিবার ফলে W গ্রাম আয়ন মুক্ত করিল। এক্ষেত্রে, প্রবাহিত তড়িতের পরিমাণ, $Q=I\times t$ কুলম্ব। সুতরাং প্রথম সূত্র হইতে আমরা লিখিতে পারি, $W\propto Q\propto I\times t$ or $W=Z.I.t.$ [$Z=$ধ্রুবক]

যদি, $I=1$ অ্যাম্পীয়ার এবং $t=1$ সেকেণ্ড হয়, তবে $W=Z$ অর্থাৎ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া 1 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ-মাত্রা 1 সেকেণ্ড ব্যাপী চলিলে যত গ্রাম আয়ন মুক্ত হইবে তাহাই ধ্রুবক Z-এর সমান। এই ধ্রুবককে বলা হয় **তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক** (electro-chemical equivalent or E.C.E.)।

সংজ্ঞা ঃ কোন পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞাস্বরূপ বলা যাইতে পারে যে ঐ পদার্থের কোন লবণের দ্রবণের ভিতর দিয়া 1 কুলম্ব তড়িৎ (অর্থাৎ 1 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ-মাত্রা 1 সেকেণ্ড ব্যাপী) প্রবাহিত হইলে যত গ্রাম ঐ পদার্থ মুক্ত হইবে তাহাই ঐ পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক। যেমন, রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ·001118 গ্রাম/কুলম্ব বলিতে আমরা বুঝি যে রৌপ্যঘটিত কোন লবণের দ্রবণের ভিতর দিয়া 1 কুলম্ব তড়িৎ পাঠাইলে ·001118 গ্রাম রূপা মুক্ত হইবে।

দ্বিতীয় সূত্রের আলোচনা ঃ

সংজ্ঞা ঃ কোন মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (chemical equivalent or C.E.) বলিতে আমরা ঐ মৌলের পারমাণবিক ওজন ও যোজ্যতার (valency) অনুপাত বুঝি। অর্থাৎ,

$$\text{রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}=\frac{\text{পারমাণবিক ওজন}}{\text{যোজ্যতা}}$$

এখন, মনে কর, আমরা জল, তুঁতের দ্রবণ এবং সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ লইয়া উহাদের ভিতর দিয়া সমপরিমাণ তড়িৎ পাঠাইলাম। তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে, বিভিন্ন ক্যাথোডে যথাক্রমে হাইড্রোজেন, তামা এবং রূপা মুক্ত হইবে। দ্বিতীয় সূত্র হইতে আমরা পাই যে, 1 গ্র্যাম হাইড্রোজেন মুক্ত হইলে, তামা মুক্ত হইবে $\frac{63\cdot5}{2}$ গ্র্যাম; এবং রূপা মুক্ত হইবে 108 গ্র্যাম; কারণ, 1, $\frac{63\cdot5}{2}$ এবং 108 হইতেছে যথাক্রমে হাইড্রোজেন, তামা ও রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

5·6. **কোন মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের ভিতর সম্পর্ক** (Relation between E.C.E. and C.E. of an element) : ধর, আমরা একটি তাম্র-ভোল্টামিটার এবং একটি জল ভোল্টামিটার লইয়া উহাদের ভিতর 1 কুলম্ব তড়িতাধান পাঠাইলাম। ফ্যারাডের প্রথম সূত্র হইতে পাই, $W_1 = Z_1$ এবং $W_2 = Z_2$; এস্থলে, W_1 এবং W_2 যথাক্রমে মুক্ত তামা এবং হাইড্রোজেনের ভর এবং Z_1 ও Z_2 যথাক্রমে উহাদের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

$$\therefore \quad \frac{W_1}{W_2} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

আবার, ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র হইতে পাই, $\frac{W_1}{W_2} = \frac{C_1}{C_2}$ (ii)

C_1 এবং C_2 হইল যথাক্রমে তামা এবং হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

অতএব, $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{C_1}{C_2}$ অথবা, $Z_1 = \frac{C_1}{C_2} \times Z_2 = C_1 \times Z_2$

[$\because$ হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $C_2 = 1$]

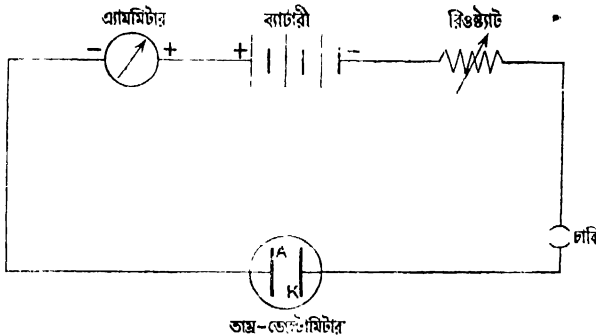
সুতরাং তামার তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক × হাইড্রোজেনের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

সাধারণভাবে বলা যায়, কোন মৌলের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = ঐ মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক × হাইড্রোজেনের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

5·7. **ফ্যারাডের সূত্রাবলীর পরীক্ষামূলক প্রমাণ** (Experimental verification of Faraday's laws) :

প্রথম সূত্র : একটি তাম্র-ভোল্টামিটার লও এবং উহাকে একটি রিওস্ট্যাট, অ্যামমিটার, একটি প্লাগ চাবি ও একটি তড়িৎকোষের ব্যাটারীর সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত কর (5·3 নং চিত্র)। ব্যাটারী হইতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইবার পূর্বে তাম্র ভোল্টামিটার হইতে ক্যাথোড পাত (K) তুলিয়া লইয়া পরিষ্কার কর ও শুষ্ক অবস্থায় উহার ওজন নির্ণয় কর। রিওস্ট্যাটের মান এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত কর যাহাতে ক্যাথোড পাতের প্রতি 50 বর্গ সে. মি. ক্ষেত্রফলে 1 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহমাত্রা যায়। এইবার ক্যাথোড পাত যথাস্থানে রাখিয়া ভোল্টামিটার দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাও। ধর, I অ্যাম্পীয়ার প্রবাহমাত্রা t_1 সেকেণ্ড ধরিয়া চলিল। অ্যামমিটার হইতে এই

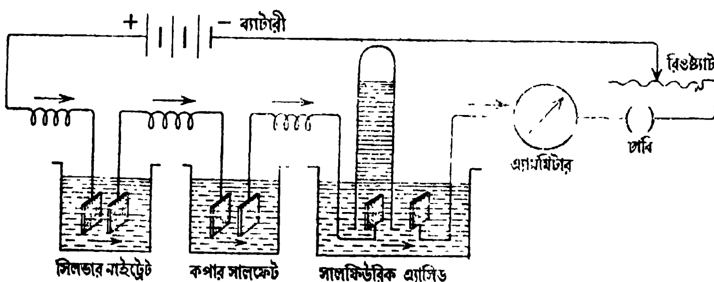
প্রবাহ-মাত্রা ও স্টপ-ঘড়ি হইতে সময় নির্ণয় করিতে হইবে। অতঃপর পাতটিকে তুলিয়া পরিষ্কার জলে ধুইয়া ফেল এবং শুষ্ক করিয়া পুনরায় ওজন লও। এই দুই ওজন হইতে মুক্ত তামার ভর



চিত্র 5·3

পাওয়া যাইবে। ধর, ইহা W_1 গ্র্যাম; পুনরায় পাতকে যথাস্থানে রাখিয়া পূর্বের প্রবাহ-মাত্রা ভিন্ন সময় t_2 সেকেণ্ড ব্যাপী পাঠাও। পূর্বের ন্যায় মুক্ত তামার ভর নির্ণয় কর। ধর, ইহা W_2 গ্র্যাম। দেখা যাইবে, $\frac{W_1}{W_2}=\frac{I_1\times t_1}{I_2\times t_2}=\frac{Q_1}{Q_2}$ অর্থাৎ, $W\propto Q$

দ্বিতীয় সূত্র ঃ এবার তিনটি ভোল্টামিটার—রৌপ্য, তাম্র ও জল ভোল্টামিটার—ব্যাটারী, অ্যামমিটার, রিওস্ট্যাট ও চাবির সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত কর (5·4 নং চিত্র)। শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত বলিয়া, প্রত্যেক ভোল্টামিটার দিয়া একই তড়িৎপ্রবাহ একই সময় ধরিয়া চালু থাকিবে।



চিত্র 5·4

এখন, একটি নির্দিষ্ট সময় ব্যাপী ব্যাটারী হইতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাও। এক্ষেত্রে ভোল্টামিটার-গুলির ক্যাথোডে রূপা, তামা এবং হাইড্রোজেন জমা হইবে। পূর্বের মত মুক্ত রূপা ও তামার ভর নির্ণয় কর এবং হাইড্রোজেনের বেলাতে, প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে আয়তন নির্ণয় করিয়া উহার ভর বাহির কর। যদি মুক্ত রূপা, তামা ও হাইড্রোজেনের ভর যথাক্রমে W_1, W_2 ও W_3

গ্রাম হয় এবং উহাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মান যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 হয় তবে, উপরোক্ত পরীক্ষার ফলে দেখা যাইবে, $W_1 : W_2 : W_3 = C_1 : C_2 : C_3$; ইহাই দ্বিতীয় সূত্র।

Examples : (1) 1 গ্রাম দস্তা বিন্যস্ত করিতে জিঙ্ক সালফেট দ্রবণের ভিতর দিয়া 2·5 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ কতক্ষণের জন্য পাঠাইতে হইবে? দস্তার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= \cdot 0003387$ গ্রাম/কুলম্ব।

উ। আমরা জানি, $W = Z.I.t.$

এখানে, $W = 1$ গ্রাম; $Z = \cdot 0003387$ গ্রাম/কুলম্ব, $I = 2 \cdot 5$ অ্যাম্পীয়ার

$$\therefore \quad 1 = \cdot 0003387 \times 2 \cdot 5 \times t$$

অতএব, $t = \dfrac{1}{\cdot 0003387 \times 2 \cdot 5}$ সেকেণ্ড $= 1180$ সেকেণ্ড $= 19$ মিনিট 40 সেকেণ্ড।

(2) 1·5 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ কপার সালফেট দ্রবণের ভিতর দিয়া 40 মিনিট ব্যাপী চালু থাকিলে, 1·2 গ্রাম তামা মুক্ত হয়। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর।

উ। আমরা জানি, $W = Z.I.t.$

এখানে $W = 1 \cdot 2$ গ্রাম; $I = 1 \cdot 5$ অ্যাম্পীয়ার; $t = 40 \times 60$ সেকেণ্ড

$$\therefore \quad 1 \cdot 2 = Z \times 1 \cdot 5 \times 40 \times 60$$

$$\text{or,} \quad Z = \frac{1 \cdot 2}{1 \cdot 5 \times 40 \times 60} = \cdot 00033 \text{ গ্রাম/কুলম্ব}$$

(3) একটি ব্যাটারী প্রদত্ত তড়িৎপ্রবাহ সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ হইতে 60 গ্রাম রূপা মুক্ত করিলে ঐ ব্যাটারীতে কত দস্তা ব্যয়িত হইবে যদি স্থানীয় ক্রিয়ার দরুন 20% দস্তা নষ্ট হয়? রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= 108$ এবং দস্তার $= 32 \cdot 6$।

উ। তড়িৎপ্রবাহ ব্যাটারীর ভিতর দিয়া যাইবার ফলে, ব্যাটারী হইতে দস্তা মুক্ত হইবে। এখন, ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র হইতে লেখা যায়,

$$\frac{\text{মুক্ত দস্তার ভর}}{\text{,, রূপার ,,}} = \frac{\text{দস্তার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{\text{রূপার ,, ,,}}$$

অথবা, $\dfrac{\text{মুক্ত দস্তার ভর}}{60} = \dfrac{32 \cdot 6}{108}$

$$\text{মুক্ত দস্তার ভর} = \frac{32 \cdot 6 \times 60}{108} = 18 \cdot 1 \text{ গ্রাম।}$$

যেহেতু, স্থানীয় ক্রিয়ার দরুন 20% দস্তা নষ্ট হইতেছে, সেইহেতু ঐ কারণে যে পরিমাণ দস্তা নষ্ট হইতেছে তাহা $= \dfrac{20}{80} \times 18 \cdot 1 = 4 \cdot 52$ গ্রাম।

$\therefore$ মোট ব্যয়িত দস্তার পরিমাণ $= 18 \cdot 1 + 4 \cdot 52 = 22 \cdot 62$ গ্রাম।

5·8 তড়িৎবিশ্লেষণের আরহেনিয়াস তত্ত্ব (Arhenius theory of electrolysis) ঃ

তড়িৎবিশ্লেষণ সম্পর্কিত ঘটনাবলীর ব্যাখ্যা করিতে গিয়া আরহেনিয়াস এই সম্বন্ধে একটি তত্ত্ব প্রচার করেন। ইহাকে তড়িৎ বিশ্লেষণ সম্পর্কিত **আরহেনিয়াস তত্ত্ব** বলা হয়।

আরহেনিয়াস মত প্রকাশ করেন যে কোন বস্তুকে জলে দ্রবীভূত করিলে, দ্রাববস্তুর অণুগুলি পরমাণুতে বিচ্ছিন্ন হইয়া পড়ে এবং অণুগুলির ভিতর পরমাণুর আদানপ্রদানও চলে। ফলে, যে কোন মুহূর্তে দ্রবণের ভিতর প্রচুর পরিমাণ স্বাধীন পরমাণু অবস্থান করে। এই পরমাণুগুলির আচরণ অবিভাজিত (undissociated) অণুগুলির আচরণের অনুরূপ। তাছাড়া, দেখা যায় যে তড়িদ্দ্বারের সাহায্যে দ্রবণের ভিতর বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিবার পূর্বেই, এই পরমাণুগুলি তড়িৎগ্রস্থ হয়। ইহাদের বলা হয় **আয়ন** (ions)। সমস্ত ধাতব আয়ন এবং হাইড্রোজেন আয়ন ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্থ। তাই ইহাদের বলা হয় ইলেক্‌ট্রো-পজিটিভ। সমস্ত অধাতব আয়ন ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্থ; এই কারণে ইহাদের নাম হইয়াছে ইলেক্‌ট্রো-নেগেটিভ। খুব লঘু দ্রবণে বিশ্লেষণের (dissociation) মাত্রা খুব উচ্চ অর্থাৎ দ্রাব পদার্থের প্রায় সমস্ত অণুই স্বাধীন আয়নে বিশ্লেষিত হয়। যেমন খাবার লবণের লঘু দ্রবণে প্রতি NaCl অণু ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্থ সোডিয়াম আয়ন এবং ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্থ ক্লোরিণ আয়নে নিম্নলিখিত উপায়ে বিশ্লেষিত হয় ঃ



$$NaCl \rightarrow Na^{+} + Cl^{-}$$

দ্রবণের ভিতর তড়িৎবিশ্লেষ্যের (electrolytes) আয়নীভবন তড়িৎ-আকর্ষণের দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়। অণুর পরমাণুগুলি পরস্পরের সহিত তড়িৎ-আকর্ষণের দ্বারা আবদ্ধ। যখন কোন বস্তুর লবণ দ্রাবকে দ্রবীভূত করা হয়—যেমন জলে দ্রবীভূত করা হয়—তখন ঐ তড়িৎ-আকর্ষণ বল যথেষ্ট পরিমাণে হ্রাস পায় কারণ জলের তড়িৎ ভেদ্যতার মাত্রা অতি উচ্চ ($k=80$)। তড়িৎ-আকর্ষণ বল ভেদ্যতার ব্যস্তানুপাতিক কারণ $F=\frac{1}{k}\cdot\frac{q_1q_2}{r^2}$. ফলে, অণু হইতে পরমাণু বিচ্ছিন্ন হইয়া পড়ে অথবা আয়ন সৃষ্টি হয়।

এই তড়িৎবিশ্লেষণ তত্ত্ব হইতে জানা যায় যে বাহিরের উৎস হইতে দ্রবণের ভিতর বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে, আয়ন সৃষ্টি হয় না; সৃষ্ট আয়নগুলি তড়িদ্দ্বারের দিকে চালিত হয়। ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্থ আয়নগুলি ক্যাথোড পাতের দিকে চালিত হয় এবং এই কারণে এই আয়নগুলিকে বলা হয় **ক্যাটায়ন** (cations)। ঋণাত্মক আয়নগুলি অ্যানোড পাতের দিকে অগ্রসর হয় বলিয়া বলা হয় **অ্যানায়ন** (anions)। আয়নগুলি আপন আপন তড়িদ্দ্বারে পৌঁছাইয়া নিজস্ব তড়িৎ প্লেটে হস্তান্তরিত করে এবং এই পদ্ধতিতে তড়িৎবিশ্লেষ্যের ভিতর তড়িৎ পরিবহন ও তড়িৎ বিশ্লেষণ ঘটায়।

5·9 ফ্যারাডে (Faraday) ঃ ইহা তড়িতাধানের একটি একক। ফ্যারাডের প্রথম সূত্র হইতে আমরা জানি যে, কোন মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক Z হইলে, 1 কুলম্ব তড়িতাধান ঐ মৌলের Z গ্র্যাম মুক্ত করিবে। কাজেই, ঐ মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক পরিমাণ মুক্ত করিতে যে তড়িতাধানের প্রয়োজন হইবে কুলম্বে তাহা $=\frac{\text{ঐ মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{Z}$

যেমন, রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ·001118 gm/coulomb এবং রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 108 ; অতএব 108 gm রূপা মুক্ত করিতে প্রয়োজনীয় তড়িতাধান

$$=\frac{\cdot 001118}{108}=96540 \text{ কুলম্ব।}$$

এইভাবে হিসাব করিলে দেখা যাইবে হাইড্রোজেন, তামা, দস্তা, প্রভৃতি যে কোন মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক পরিমাণ ভর মুক্ত করিতে একই পরিমাণ অর্থাৎ 96540 কুলম্ব তড়িতাধান লাগিতেছে। এই পরিমাণ তড়িতাধানকে ফ্যারাডে বলা হয়।

∴ 1 ফ্যারাডে=96540 কুলম্ব।

5·10 তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা নির্ণয় (Determination of current in a circuit by the application of electrolysis) ঃ তড়িৎ-বিশ্লেষণের সহায়তায় কোন বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা নির্ণয় করা যায়। একটি তাম্র-ভোল্টামিটার লও এবং উহার ক্যাথোড-পাত পরিষ্কার করিয়া শুষ্ক অবস্থায় উহার ওজন নির্ণয় কর। এখন, যে-বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা নির্ণয় করিতে হইবে তাহার দুই প্রান্ত ভোল্টামিটারের দুই পাতের সহিত যুক্ত কর। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে বর্তনীর ঋণাত্মক প্রান্ত যেন ক্যাথোড পাতের সহিত যুক্ত হয়। এখন কিছুক্ষণ ধরিয়া তড়িৎপ্রবাহ ভোল্টামিটারের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইতে দাও। স্টপ-ঘড়ির সাহায্যে ঐ সময় দেখিয়া রাখ। প্রবাহ বন্ধ করিয়া ক্যাথোড পাত তুলিয়া লও এবং ধৌত করিয়া শুষ্ক অবস্থায় ওজন লও। এই দুই ওজন হইতে মুক্ত তামার ওজন পাওয়া যাইবে। ধর, ইহা W গ্র্যাম। আমরা জানি, $W=Z.I.t.$

$$\therefore \quad I=\frac{W}{Z\times t}$$

সুতরাং 't' এবং 'W' জানা থাকায় এবং তামার তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক Z জানা থাকিলে তড়িৎ-প্রবাহ I নির্ণয় করা যাইবে।

Example ঃ একটি তাম্র-ভোল্টামিটার শ্রেণী সমবায়ে একটি ব্যাটারীর সহিত যুক্ত এবং ঐ ব্যাটারী 1 ঘণ্টাব্যাপী প্রবাহ পাঠাইল। দেখা গেল যে ক্যাথোড পাতে 1·1 গ্র্যাম তামা জমা হইয়াছে। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ·00033 গ্র্যাম/কুলম্ব হইলে, প্রবাহ-মাত্রা কত ছিল?

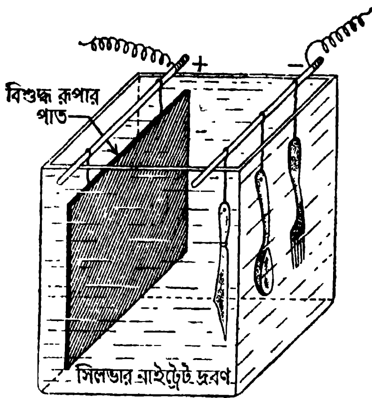
উ। আমরা জানি, $W=Z.I.t.$ বা $I=\frac{W}{Z\,t}$

এক্ষেত্রে, $W=1\cdot 1$ গ্র্যাম; $Z=\cdot 00033$ গ্র্যাম/কুলম্ব; $t=60\times 60$ সেকেণ্ড

$$\therefore \quad I=\frac{1\cdot 1}{\cdot 00033\times 63\times 60}=\frac{11}{\cdot 33\times 6\times 6}=0\cdot 926 \text{ অ্যাম্পীয়ার।}$$

5.11 তড়িৎ-বিশ্লেষণের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of electrolysis)ঃ নানা শিল্পকর্মে তড়িৎ-বিশ্লেষণের ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখিতে পাওয়া যায়। পরপৃষ্ঠায় ইহাদের সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করা হইল।

(i) **ইলেকট্রোপ্লেটিং (বা, তড়িৎ-প্রলেপন) :** এই প্রক্রিয়ার দ্বারা কাঁটা, ছুরি, চামচ, বোতাম, বিভিন্ন যন্ত্রপাতির অংশ প্রভৃতির উপর নানারকম ধাতু—যেমন, সোনা, রূপা, নিকেল প্রভৃতির প্রলেপ দেওয়া হয়। ইহাতে জিনিষগুলি চকচকে এবং সুন্দর দেখায়। ছুরি, কাঁটা প্রভৃতি যে-সকল দ্রব্যে প্রলেপ দিতে হইবে সেগুলি একটি পরিবাহী দণ্ড হইতে একটি বাক্সের ভিতর ঝুলানো থাকে। বাক্সের ভিতর রূপা, সোনা প্রভৃতি যাহার প্রলেপ দিতে হইবে তাহার দ্রবণ থাকে। অপর একটি পরিবাহী দণ্ড হইতে প্রলেপ অনুযায়ী বিশুদ্ধ রূপা বা তামার একটি প্লেট ঝুলানো থাকে। দণ্ড দুইটির সহিত তড়িৎকোষ লাগাইয়া তড়িৎ-প্রবাহ চালাইলে ঝুলন্ত জিনিষগুলির উপর প্রলেপ পড়িয়া যাইবে (5.5 নং চিত্র)।



চিত্র 5·5

এইভাবে লোহার উপর জিঙ্কের প্রলেপ দিলে বলা হয় গ্যালভানাইজ্‌ড লোহা।

(ii) **ইলেকট্রোটাইপিং** (Electrotyping) : ইহা ইলেকট্রোপ্লেটিং-এর এক বিশেষ পদ্ধতি। যে সকল পুস্তক বা লেখা বহু কপি ছাপাইতে হয় তাহা সাধারণত ইলেকট্রোটাইপ প্লেট হইতে ছাপানো হয়। প্রথমে লেখাটি সাধারণ টাইপে কম্পোজ করা হয় এবং মোমের উপর তাহার একটি ছাপ লওয়া হয়। উহার উপরে কিছু গ্রাফাইট গুঁড়া ছড়াইয়া উহাকে তড়িৎ-পরিবাহী করা হয়। অতঃপর একটি তুঁতের দ্রবণে উহাকে ক্যাথোড পাত হিসাবে ঝুলানো হয় এবং অ্যানোড পাত হিসাবে তামার একটি প্লেট ব্যবহার করা হয়। তড়িৎপ্রবাহ চালাইলে মোমের ছাঁচের উপরে তামা জমিবে। খানিকটা পুরু হইলে ছাঁচ হইতে উহাকে ছাড়াইয়া লওয়া হয়। ইহার সাহায্যে লেখাটির বহু কপি ছাপানো যায়।

একই পদ্ধতিতে গ্রামোফোনের রেকর্ড তৈয়ারী করা হয়।

(iii) **ধাতু নিষ্কাশন ও শোধন** (Extraction and purification of metal) : অ্যালুমিনিয়াম, সোডিয়াম, পটাসিয়াম প্রভৃতি ধাতু নিষ্কাশনে এবং কষ্টিক পটাশ, প্রভৃতি রাসায়নিক দ্রব্যাদি প্রস্তুতিতে তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতির ব্যাপক ব্যবহার দেখিতে পাওয়া যায়। তাছাড়া, তামা, দস্তা প্রভৃতি ধাতু আকরিক হইতে নিষ্কাশনের পর শোধন করিবার জন্যও তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতি কাজে লাগানো হয়। এ সম্পর্কে রসায়নের যে-কোন পাঠ্যপুস্তকে বিশদ বিবরণ পাওয়া যাইবে।

Example : 20 বর্গ মি. মি. ক্ষেত্রফলের একটি চামচে 0.1 মি. মি. পুরু রূপার প্রলেপ দিতে হইবে। এই উদ্দেশ্যে 0.15 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ ব্যবহার করিলে, কতক্ষণ প্রবাহ চালু রাখিতে হইবে? রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = ·001118 গ্রাম/কুলম্ব এবং ঘনত্ব = 10·5 গ্রাম সি. সি.।

উ। চামচের ক্ষেত্রফল $= 20$ বর্গ মি. মি. $= 0{\cdot}2$ বর্গ সে. মি.

প্রলেপের বেধ $= 0{\cdot}1$ মি. মি. $= {\cdot}01$ সে. মি.,

মুক্ত রূপার আয়তন $= 0{\cdot}2 \times 0{\cdot}01$ সি. সি.

অতএব, মুক্ত রূপার ভর $= 0{\cdot}2 \times 0{\cdot}01 \times 10{\cdot}5$ গ্র্যাম $= {\cdot}021$ গ্র্যাম

আমরা জানি, $W = Z.I.\,t$ বা $t = \frac{W}{Z.I.}$

এক্ষেত্রে, $W = {\cdot}021$ গ্র্যাম; $Z = {\cdot}001118$ গ্র্যাম/কুলম্ব; $I = 0{\cdot}15$ অ্যাম্পীয়ার;

$\therefore\ t = \frac{{\cdot}021}{{\cdot}001118 \times {\cdot}15}$ সে. $= 125$ সে. $=$ 2 মিনিট 25 সেকেণ্ড।

Exercises

1. নিম্নলিখিত রাশিগুলির ব্যাখ্যা কর ঃ—

(i) আয়ন, (ii) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, (iii) তড়িৎ-বিশ্লেষণ, (iv) তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ। ভোল্টীয় কোষ ও তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষের ভিতর পার্থক্য কি? [*H. S. Exam. 1964*]

2. তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কাহাকে বলে? চিনির দ্রবণ কি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য? পারদকে কি তুমি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বলিয়া গণ্য করিবে?

3. তুঁতের দ্রবণের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে কি ঘটনা ঘটে তাহার সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও যখন তড়িৎ দ্বারদ্বয় (i) তামা এবং (ii) প্লাটিনামের তৈরী।

4. তড়িৎ-বিশ্লেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের সূত্র বর্ণনা কর। ইহাদের পরীক্ষামূলক প্রমাণ দিবে কিরূপে? তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ।

[*cf. H. S. Exam. 1965*]

5. তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে বর্তনীতে প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহমাত্রা পরিমাপ করিবে কিরূপে? বর্তনীর একটি চিত্র আঁক এবং পরিষ্কার ভাবে অ্যানোড এবং ক্যাথোড নির্দেশ কর।

[*cf. H. S. Exam. 1964*]

6. সিলভার নাইট্রেট দ্রবণে $0{\cdot}1$ অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ 1 ঘণ্টা ব্যাপী পাঠাইলে, কত রূপা জমা হইবে? রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= {\cdot}001118$ গ্র্যাম/কুলম্ব।

[Ans. $0{\cdot}402$ গ্র্যাম]

7. জল-ভোল্টামিটারে অর্ধঘণ্টাব্যাপী 2 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে 18°C তাপমাত্রায় এবং 80 সে. মি. চাপে 423 সি. সি. হাইড্রোজেন গ্যাস মুক্ত হইল। হাইড্রোজেন গ্যাসের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর। প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় 1 লিটার হাইড্রোজেনের ওজন $0{\cdot}089$ গ্র্যাম। [Ans. 1.05×10^{-5} গ্র্যাম/কুলম্ব]

8. তাম্র-ভোল্টামিটারে 10 মিনিট সময়ে $1{\cdot}5$ গ্র্যাম তামা মুক্ত হইল। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ${\cdot}000328$ গ্র্যাম/কুলম্ব হইলে, ভোল্টামিটার দিয়া কত তড়িৎপ্রবাহ যাইতেছে?

[Ans. $7{\cdot}62$ অ্যাম্পীয়ার]

9. একটি সিলভার ভোল্টামিটার এবং একটি কপার ভোল্টামিটার শ্রেণী-সমবায়ে একটি ব্যাটারী এবং অ্যামমিটারের সহিত যুক্ত। ভোল্টামিটার দিয়া 0·89 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ গেলে 30 মিনিট সময়ে 1·8 গ্রাম রূপা মুক্ত হইল। (*a*) রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক, এবং (*b*) মুক্ত তামার ভর নির্ণয় কর। [তামা এবং রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে 31·8 এবং 108]।

[Ans. (*a*) 0.00112 গ্র্যাম/কুলম্ব, (*b*) 0·53 গ্র্যাম]

10. তড়িৎ-রাসায়নিক বিশ্লেষণ সংক্রান্ত কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর এবং উহাদের সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও।

11. একটি চক্রাকার তামার প্লেটের একপাশে 0·1 মি. মি. পুরু তামা জমাইতে 1·25 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহের কত সময় লাগিবে? চক্রের ব্যাসার্ধ 2.5 সে. মি.; তামার তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =·00033 গ্র্যাম/কুলম্ব; তামার ঘনত্ব=8.9 গ্র্যাম/সি. সি.।

[Ans.1 ঘণ্টা 10 মিনিট 36 সেকেণ্ড]

12. একটি বর্তনীতে নগণ্য রোধের একটি ব্যাটারী, একটি রোধ বাক্স এবং একটি ভোল্টামিটার যুক্ত আছে। যখন রোধ বাক্সে 5 ওহম্ রোধ তোলা হইল, তখন, 10 মিনিট সময়ে 0·36 গ্র্যাম তামা মুক্ত হইল। কিন্তু 10 ওহম্ রোধ তুলিলে 20 মিনিট সময়ে 0·48 গ্র্যাম তামা মুক্ত হয়। ভোল্টামিটারের রোধ কত? [Ans. 5 ওহম্]

13. একটি তাম্র-ভোল্টামিটারের ভিতর দিয়া 3 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ গেলে 60 বর্গ সে. মি. ক্ষেত্রফলের তড়িৎদ্বারে তামা মুক্ত হইল। 30 মিনিট সময়ে কত পুরু তামা মুক্ত হইবে? তামার ঘনত্ব=9 গ্র্যাম/সি. সি.; তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক=·000329 গ্র্যাম/কুলম্ব।

[Ans. ·00329 সে. মি.]

14. কপার সালফেট দ্রবণের ভিতর দিয়া 4 ঘণ্টা 27 মিনিট ব্যাপী 2 অ্যাম্পীয়ার প্রবাহ পাঠানো হইল। 5 সে.মি. × 6 সে. মি. ক্ষেত্রফলের তড়িৎদ্বারের এক পাশে কত পুরু তামা মুক্ত হইবে? তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক=0·00033 গ্র্যাম/কুলম্ব; তামার ঘনত্ব=8·9 গ্র্যাম/সি. সি.। [Ans. 0·0398 গ্র্যাম]

15. নিম্নলিখিত বিষয় সম্বন্ধে নোট লেখ:—

(ক) তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সম্পর্ক, (খ) ফ্যারাডে, (গ) ইলেক্ট্রোপ্লেটিং।

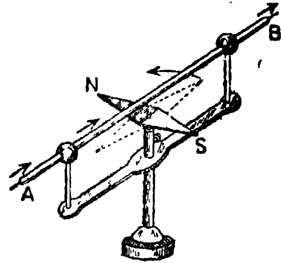
ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

তড়িৎ-চুম্বকত্ব
(Electromagnetism)

(ক) চুম্বকের উপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া
(Action of electric current on magnet)

6·1. **ওরস্টেড-এর পরীক্ষা ঃ** তড়িৎপ্রবাহের বিভিন্ন ফল আলোচনা করিবার সময় তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফল সম্বন্ধে বলা হইয়াছে। চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের এই ফল সর্বপ্রথম কোপেনহেগেনের অধ্যাপক হানস্ ক্রিশ্চিয়ান ওরস্টেড লক্ষ্য করেন 1820 খ্রীষ্টাব্দে। নিম্নে ওরস্টেড-এর পরীক্ষা বর্ণনা করা হইল ঃ

AB একটি পরিবাহী তার যাহার ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চলিতে পারে। তারটি উত্তর-দক্ষিণ বরাবর আটকানো আছে। তারের নীচে একটি চুম্বকশলাকা (magnetic needle) রাখা আছে। যখন তারের ভিতর দিয়া কোন তড়িৎপ্রবাহ চলে না তখন চুম্বক-শলাকা তারের সমান্তরালভাবে উত্তর-দক্ষিণমুখী হইয়া অবস্থান করে। 6·1 নং চিত্রে কাটা-কাটা রেখাদ্বারা (dotted line) ঐ অবস্থানকে দেখানো হইয়াছে। কিন্তু তারের ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠানোর সঙ্গে সঙ্গে চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ হইবে এবং শলাকা তারের সহিত লম্বভাবে অবস্থান করিবে (6·1 নং চিত্র)। যদি তার শলাকার নীচু দিয়া যায় তবে শলাকার বিক্ষেপ উল্টা দিকে হইবে। অথবা তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ A হইতে B-এর দিকে না করিয়া উল্টাইয়া B হইতে A-এর দিকে করিলে শলাকার বিক্ষেপ উল্টা দিকে হইবে। এই বিভিন্ন অবস্থা 6·2 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

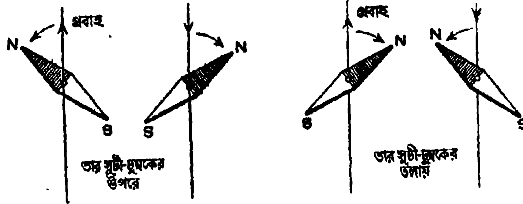


চিত্র 6·1

এই পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণ হয় যে, তড়িৎপ্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করিতে পারে ; কারণ, চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব ছাড়া চুম্বক শলাকার বিক্ষেপ হইতে পারে না। এই প্রসঙ্গে মনে রাখা কর্তব্য, **এই চৌম্বকক্ষেত্রের দ্বারা পরিবাহী চুম্বকিত হয় না। কিছু লৌহচূর্ণ পরিবাহীর কাছে আনিলে, পরিবাহী চূর্ণগুলিকে আকর্ষণ করিবে না।**

এখানে আরও উল্লেখযোগ্য যে তারকে যদি পূর্ব-পশ্চিম দিকে অর্থাৎ চুম্বক-শলাকার অক্ষের লম্বভাবে রাখিয়া প্রবাহ পাঠানো যায় তাহা হইলে চুম্বক-শলাকার কোন বিক্ষেপ দেখা যায় না।

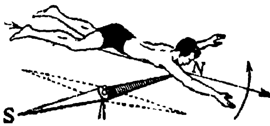
ওরস্টেড-এর এই আবিষ্কার তড়িৎবিজ্ঞানে এক নূতন যুগের সূচনা করিল ; কারণ, তড়িৎ ও চুম্বকের পারস্পরিক ক্রিয়ার ফলে বহু প্রয়োজনীয় তড়িৎ-যন্ত্র তৈয়ারী হইয়াছে।



চিত্র 5.2

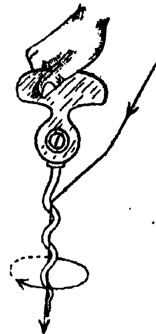
6·2 **চুম্বক বিক্ষেপের দিক্ নির্ণয়ের নিয়ম :** পূর্ব-বর্ণিত পরীক্ষায় আমরা দেখিয়াছি চুম্বক-শলাকা তারের উপরে রাখিলে যে দিকে বিক্ষেপ হয় নীচে রাখিলে বিক্ষেপ উল্টা দিকে হয়। অথবা তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দিলেও বিক্ষেপ উল্টা দিকে হয়। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপের দিক্‌নির্ণয় নিম্নলিখিত নিয়মের দ্বারা করা যায়।

(1) **অ্যাম্পীয়ারে সন্তরণ নিয়ম** (Ampere's swimming rule) : মনে কর কোন ব্যক্তি তড়িদ্বাহী তার বরাবর প্রবাহের অভিমুখে এমনভাবে হাত ছড়াইয়া সাঁতরাইতেছে যে তাহার মুখ সর্বদা চুম্বকের দিকে থাকে (6·3 নং চিত্র)। এই অবস্থায় ঐ ব্যক্তির বাম হাতের দিকে চুম্বকের উত্তর মেরু (N-pole) বিক্ষিপ্ত হইবে। সুতরাং দক্ষিণ মেরু ঐ ব্যক্তির ডান হাতের অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হইবে।



চিত্র 6·3

(2) **ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম** (Maxwell's cork screw rule) : পরিবাহী তার দিয়া যে দিকে তড়িৎপ্রবাহ হইতেছে—মনে কর, একটি ডান পাকের (right handed) কর্ক-স্ক্রুকে পরিবাহী তার বরাবর সেই দিকে চালনা করা হইয়াছে। এই অবস্থায় বৃদ্ধাঙ্গুলি যেদিকে ঘুরিবে চুম্বক-শলাকার উত্তর মেরু সেইদিকে বিক্ষিপ্ত হইবে (6·4 নং চিত্র)।



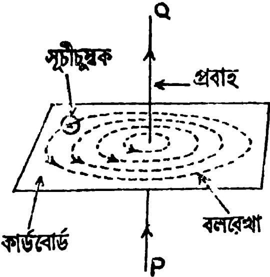
চিত্র 6·4

6·3 **তড়িৎপ্রবাহের দরুন চৌম্বক বলরেখার চিত্রাঙ্কন** (Mapping of magnetic lines of force due to current) :

(i) **ঋজু পরিবাহীর তড়িৎপ্রবাহ** (Current in a straight conductor) : পূর্বে বলা হইয়াছে পরিবাহীতে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে তাহা চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে।

ঋজু পরিবাহীতে তড়িৎপ্রবাহ যে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে তাহার বলরেখার চিত্রাঙ্কন নিম্ন উপায়ে করা যাইতে পারে :

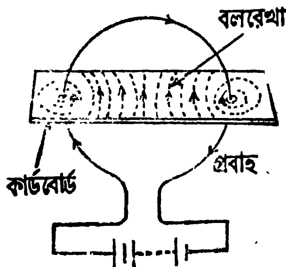
পরীক্ষা : PQ একটি ঋজু তার। উহা একটি তড়িৎবর্তনীর অংশ। বাকী অংশ ছবিতে (6·5 নং চিত্র) দেখানো হয় নাই। তারটি একটি কার্ডবোর্ডের ভিতর দিয়া কার্ডবোর্ডের সহিত লম্বভাবে ঢুকানো আছে। কার্ডবোর্ডের উপর কিছু লৌহ-চূর্ণ ছড়ানো আছে। এইবার PQ তার দিয়া তীব্র তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইয়া কার্ডবোর্ডের উপর আঙ্গুল দিয়া কয়েকবার টোকা দিলে লৌহ চূর্ণগুলিকে তারের চতুর্দিকে কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্তে সজ্জিত হইতে দেখা যাইবে। সব বৃত্তের কেন্দ্র তার ও বোর্ডের ছেদবিন্দুর উপর অবস্থিত থাকিবে এবং বৃত্তগুলির তল (plane) তারের অভিমুখের সমকোণে থাকিবে। লৌহচূর্ণের এই সজ্জা বলরেখার চিত্র নির্দেশ করে। যদি তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ P হইতে Q -এর দিকে হয় তবে বলরেখাগুলির অভিমুখ ছবিতে যেমন দেখানো হইয়াছে সেইরূপ হইবে। এই অভিমুখ পূর্বোক্ত নিয়মগুলি হইতে পাওয়া যাইবে। যদি প্রবাহের অভিমুখ উল্টা হয় অর্থাৎ Q হইতে P-এর দিকে হয় তবে বলরেখার অভিমুখও উল্টা হইবে। একটি সূচী-চুম্বক উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের যে-কোন স্থানে রাখিলে চুম্বকীয় বলরেখার স্পর্শক (tangent) হইয়া অবস্থান করিবে।



চিত্র 6.5

(সুদীর্ঘ (infinitely long) ঋজু তারে i amp. প্রবাহ গেলে, তার হইতে r cm. দূরে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য হইবে $F=\frac{i}{5r}$ ওরস্টেড।)

(ii) বৃত্তাকার পরিবাহীর তড়িৎপ্রবাহ (Current flowing in a circular conductor) : বৃত্তাকার পরিবাহীর তড়িৎপ্রবাহ যে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে তাহার বলরেখার চিত্রাঙ্কন নিম্নে বর্ণনা করা হইল।



চিত্র 6·6

পরীক্ষা : একটি অনুভূমিক কাডবোডের দিয়া উল্লম্বভাবে (vertically) একটি বৃত্তাকার তার ঢুকাও যাহাতে বৃত্তাকার তারের কেন্দ্রবিন্দু বোর্ডের উপর থাকে (6·6 নং চিত্র)। তারের সহিত একটি তড়িৎকোষের ব্যাটারী যুক্ত কর। কার্ডবোডের উপর কিছু লোহাচুর ছড়াইয়া তার দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাও। কার্ডবোর্ডকে এইবার আস্তে আস্তে আঙ্গুল দিয়া টোকা দাও। দেখিবে যে লোহাচুরগুলি একটি বিশেষ ধরনে সজ্জিত হইল। লোহাচুরগুলি চৌম্বক বলরেখার অবস্থান নির্দেশ করে। বলরেখাগুলি লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে তারের কাছাকাছি উহারা তারের চতুর্দিকে সমকেন্দ্রিক বৃত্তে

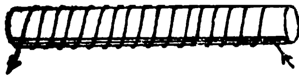
সজ্জিত কিন্তু তারের কেন্দ্রের নিকট বলরেখাগুলি প্রায় সমান্তরাল এবং বৃত্তাকার তারের তলের (plane) সহিত সমকোণে অবস্থিত। সমান্তরাল বলরেখা সমবলসম্পন্ন (uniform) চৌম্বক ক্ষেত্র নির্দেশ করে। সুতরাং ইহা হইতে বোঝা যায়, **যখন বৃত্তাকার তারে তড়িৎপ্রবাহ হয় তখন বৃত্তের কেন্দ্রের চতুর্দিকে সামান্য পরিমাণ স্থানে চৌম্বকক্ষেত্র সমবলসম্পন্ন এবং এই চৌম্বক ক্ষেত্র তারের তলের সহিত সমকোণ করে।**

ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার (tangent galvanometer) নামক যন্ত্রে এই ধরণের সমবলসম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রয়োগ করা হয়। 6·12 নং অনুচ্ছেদে ইহার বিবরণ দেওয়া হইয়াছে। r cm. ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পরিবাহীতে i e.m.u. প্রবাহ গেলে বৃত্তের কেন্দ্রে

চ�ৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $F=\dfrac{2\pi ni}{r}$ [n=তারের পাক-সংখ্যা]

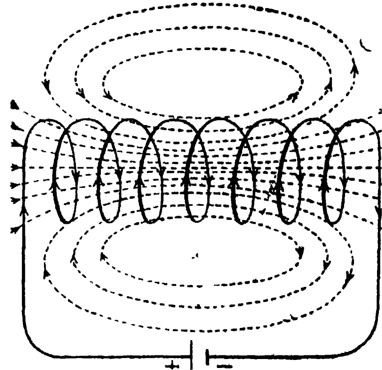
$=\dfrac{2\pi ni}{10r}$ [যখন প্রবাহ i অ্যাম্পীয়ার]

(iii) **সলিনয়েডে তড়িৎপ্রবাহ** (Current flowing in a solenoid) : একটি দীর্ঘ অন্তরিত তারকে একটি অন্তরক চোঙের গায়ে যদি এমনভাবে জড়ানো যায় যে প্রতি পাক চোঙের অক্ষের সহিত অভিলম্ব হয় তবে ঐ কুণ্ডলীকে সলিনয়েড বলে (6·7 নং চিত্র)। উক্ত সলিনয়েডে **তড়িৎপ্রবাহ** গেলে যে চৌম্বক-ক্ষেত্রের সৃষ্টি হইবে তাহার **বলরেখা** নিম্নরূপে দেখানো যাইতে পারে :



চিত্র 6·7

পরীক্ষা : একটি সলিনয়েডকে একখানি কার্ডবোর্ডের উপর এমনভাবে আটকাও যে, উহার অর্ধাংশ কার্ডবোর্ডের উপরে এবং বাকি অর্ধাংশ নীচে থাকে এবং সলিনয়েডের অক্ষ (axis) কার্ডবোর্ডের তলে (plane) অবস্থান করে। এইবার কার্ডবোর্ডে কিছু লোহাচুর ছড়াইয়া সলিনয়েডে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাও। কার্ডবোর্ডকে আস্তে আস্তে টোকা দিলে লোহাচুরগুলি বলরেখা বরাবর সজ্জিত হইবে। বলরেখাগুলি লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, দণ্ড-চুম্বক যেমন বলরেখা সৃষ্টি করে, ইহারা ঠিক সেইরূপ। সুতরাং বলা যাইতে পারে, **তড়িৎপ্রবাহযুক্ত সলিনয়েড দণ্ড-চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে।**



চিত্র 6·8

6·8 নং চিত্রে সলিনয়েডের ভিতর এবং বাহিরে বলরেখা কিরূপ হইবে তাহা দেখানো হইয়াছে। লক্ষ্য কর, ভিতরের বলরেখাগুলি সলিনয়েডের অক্ষের সমান্তরাল এবং অপেক্ষাকৃত ঘন সন্নিবিষ্ট (crowded)।

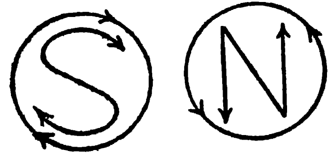
। সলিনয়েডের অভ্যন্তরে একটি নরম লোহার দণ্ড রাখিলে বলরেখাগুলি খুব ঘেষাঘেষি করিয়া অবস্থান করিবে; অর্থাৎ প্রতি বর্গ পরিমিত স্থানের ভিতর দিয়া বেশী সংখ্যক বলরেখা গমন করিবে। ইহার কারণ এই যে নরম লোহার ভেদ্যতা (permeability) অনেক বেশী।

সুদীর্ঘ সলিনয়েডের অভ্যন্তরে অক্ষস্থিত কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $F=4\pi ni$ [n=সলিনয়েডের একক দৈর্ঘ্যে পাক-সংখ্যা এবং i=e.m.u. এককে প্রবাহমাত্রা]

অথবা, $F=\dfrac{4\pi ni}{10}$ [i=ampere এককে প্রবাহমাত্রা]

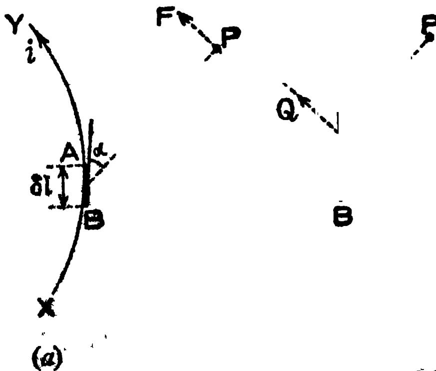
সলিনয়েডে উৎপন্ন মেরুর প্রকৃতি নির্ণয়ের নিয়ম (Rule for the polarity of a solenoid carrying a current): সলিনয়েডের কোন্ মুখে কি মেরুর উৎপত্তি হইবে তাহা নিম্নলিখিত নিয়মানুযায়ী নির্ণয় করা যায়:

যে কোন দিক হইতে সলিনয়েডের অক্ষ বরাবর তাকাও। ইহার ফলে সলিনয়েডের ঐ মুখে তড়িৎপ্রবাহ দক্ষিণাবর্তী (clockwise) মনে হইলে ঐ মুখে দক্ষিণ-মেরু হইবে এবং যদি প্রবাহ বামাবর্তী (anti-clockwise) মনে হয় তবে ঐ মুখে উত্তর-মেরু সৃষ্টি হইবে [6·9 নং চিত্র]।



চিত্র 6·9

6.4 ল্যাপলাসের সূত্র: তড়িৎপ্রবাহের তড়িৎ-চুম্বকীয় একক (Laplace's law: Electro-magnetic unit of current): তড়িৎবাহী পরিবাহী উহার চতুর্দিকে যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে যে-কোন বিন্দুতে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য ল্যাপলাসের সূত্র হইতে পাওয়া যায়।



ধর XY পরিবাহী দিয়া X হইতে Y অভিমুখে i তড়িৎপ্রবাহ যাইতেছে। ঐ পরিবাহীর একটি ক্ষুদ্র অংশ AB—যাহার দৈর্ঘ্য, মনে কর, δl—কল্পনা কর [চিত্র 6·10]। এখন ল্যাপলাসের সূত্রানুযায়ী ঐ ক্ষুদ্র অংশের জন্য যে কোন বিন্দু P-তে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য (i) দৈর্ঘ্য δl-এর সমানুপাতিক (ii) ঐ ক্ষুদ্র অংশ হইতে P বিন্দুর দূরত্ব r-এর বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। এই দূরত্বকে বলা হয় দূরক (radius vector) (iii) ঐ ক্ষুদ্র অংশের তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এবং দূরকের অন্তর্বর্তী কোণ-এর সাইনের সমানুপাতিক এবং (iv) প্রবাহমাত্রার (i) সমানুপাতিক হইবে।

অতএব, ঐ ক্ষুদ্র অংশের জন্য P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য δF ধরিলে, ল্যাপলাসের সূত্রানুযায়ী, $\delta F \propto \dfrac{i.\delta l.\sin\alpha}{r^2}$ বা, $\delta F = \dfrac{k.i.\delta l.\sin\alpha}{r^2}$ [k=আনুপাতিক ধ্রুবক যাহা প্রবাহমাত্রার এককের উপর নির্ভরশীল]।

এই চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ হইবে উক্ত ক্ষুদ্র অংশ δl এবং দূরক যে তলে (plane) অবস্থিত সেই তলের অভিলম্ব দিকে। চিত্রে δl এবং r কাগজের তলে আঁকা হইয়াছে; অতএব P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র কাগজের তলের অভিলম্ব হইবে। প্রবাহের অভিমুখ চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপ হইলে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ সম্মুখ হইতে পিছনের দিকে হইবে। কিন্তু P বিন্দু পরিবাহীর বাম দিকে অবস্থিত হইলে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কাগজের তলের অভিলম্বভাবে পিছন হইতে সম্মুখেরদিকে হইবে। ইহা 6·2 অনুচ্ছেদে উল্লিখিত নিয়মগুলি প্রয়োগ করিলেই জানা যাইবে।

সমগ্র পরিবাহীর জন্য P বিন্দুতে মোট চৌম্বক ক্ষেত্র পাইতে গেলে পরিবাহীকে ঐরূপ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে বিভক্ত করিয়া প্রত্যেক অংশের জন্য P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় করিয়া উহাদের সমষ্টি লইতে হইবে। গণিতের ভাষায় লেখা যায়, $F = \Sigma\delta F = \Sigma\dfrac{k.i.\delta l\sin\alpha}{r^2}$

এখন, P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র $\sin\alpha$-এর সমানুপাতিক কেন তাহা আমরা নিম্নলিখিত আলোচনা হইতে বুঝিতে পারিব। তড়িৎবাহী ক্ষুদ্র অংশ AB-কে আমরা দুইটি উপাংশে বিভক্ত করিতে পারি—একটি OP রেখা বরাবর $AB\cos\alpha$ এবং অপরটি উহার অভিলম্ব OQ বরাবর $AB\sin\alpha$ [চিত্র 6·10 (b)]। এখন $AB\cos\alpha$ উপাংশের উপর P বিন্দু অবস্থিত হওয়ায় ঐ উপাংশ হইতে P বিন্দুর দূরত্ব শূন্য; অতএব চৌম্বক ক্ষেত্রও শূন্য। কাজেই P বিন্দুর চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য কার্যকর উপাংশ হইবে $AB.\sin\alpha = \delta l\sin\alpha$; এই কারণে চৌম্বক ক্ষেত্র $\sin\alpha$-এর সমানুপাতিক।

তড়িৎ-প্রবাহের তাড়িচ্চুম্বকীয় একক ঃ এখন, ল্যাপ্লাসের সমীকরণে যদি মনে করা যায়, $\delta l=1$, $\alpha=90°$, $r=1$ এবং $F=1$ এবং আনুষঙ্গিক প্রবাহমাত্রাকে যদি একক হিসাবে ধরা যায় তবে $k=1$ হয়। ইহা হইতে আমরা তড়িচ্চুম্বকীয় এককের সংজ্ঞা পাই।

সংজ্ঞা ঃ এক সেন্টিমিটার দীর্ঘ ($l=1$ cm.) একটি তারকে এক সেন্টিমিটার ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট ($r=1$cm.) বৃত্তের আকারে বাঁকাইয়া উহাতে যে তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করিলে বৃত্তের কেন্দ্রে এক ওরস্টেড ($F=1$ Oersted) চৌম্বক-ক্ষেত্র উৎপন্ন হইবে, তাহাকে প্রবাহমাত্রার তড়িৎ-চুম্বকীয় একক বলা হইবে।

এক্ষেত্রে $\alpha=90°$ অথবা $\sin\alpha=1$ কারণ বৃত্তাকার তারের যে কোন ক্ষুদ্র অংশ ব্যাসার্ধের সহিত সমকোণ করে। তড়িৎপ্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক অনুযায়ী

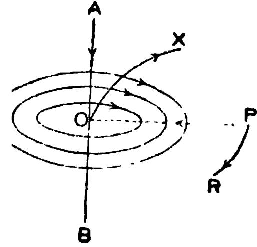
$\delta F = \dfrac{i.\delta l.\sin\alpha}{r^2}$ এবং $F = \Sigma\dfrac{i.\delta l.\sin\alpha}{r^2}$ [i=তড়িচ্চুম্বকীয় এককে প্রবাহমাত্রা]

প্রবাহমাত্রার ব্যবহারিক একক 'অ্যাম্পীয়ার'-এর সহিত উপরোক্ত তড়িৎ-চুম্বকীয় এককের সম্পর্ক এইরূপ ঃ 10 অ্যাম্পীয়ার = 1 ই.এম.ইউ ।

(খ) তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া
(Action of magnet on current)

6·5. চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী তারের গতি ঃ পূর্বে বলা হইয়াছে, তড়িৎ-প্রবাহযুক্ত তার উহার চতুর্দিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। সুতরাং ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর কোন চুম্বক মেরু থাকিলে তাহার উপর একটি বল ক্রিয়া করিবে। আমরা জানি, প্রত্যেক ক্রিয়ারই একটি সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া (reaction) থাকে। এই নিয়মানুযায়ী উক্ত চুম্বক-মেরুও তারের উপর একটি বলপ্রয়োগ করিবে যাহার ফলে তারটি নিজ অবস্থান হইতে বিক্ষিপ্ত হইবে। ইহাই তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া।

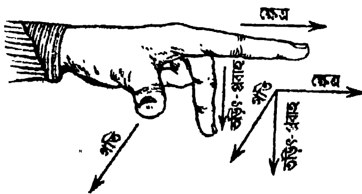
ধরা যাউক, AB একটি ঋজু (straight) পরিবাহী যাহার ভিতর দিয়া নিম্নাভিমুখী তড়িৎপ্রবাহ চলিতেছে। ইহাতে যে চৌম্বক বলরেখার সৃষ্টি হইবে তাহার দিক্-নির্দেশ 6·11 নং চিত্রে বৃত্তাকার রেখাদ্বারা দেখানো হইল। সুতরাং P বিন্দুতে রক্ষিত একটি N মেরু PR অভিমুখে কাগজের তলের অভিলম্ব-দিকে চালিত হইবে। যেহেতু প্রতিক্রিয়া ক্রিয়ার বিপরীত, সেই হেতু N-মেরু যদি P-বিন্দুতে স্থির থাকে এবং AB তারটি সঞ্চরণশীল (movable) হয় তবে উক্ত তার OX অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হইবে। যদি তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দেওয়া যায় তবে তারও বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে।



চিত্র 6·11

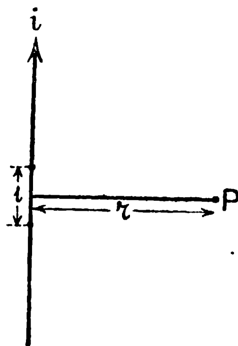
6·6. তারের গতির অভিমুখ নির্ণয় ঃ ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম (Fleming's left hand rule) ঃ তড়িৎপ্রবাহের দিক্ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক্ অনুযায়ী পরিবাহী তার কোন্ দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে তাহা ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম হইতে জানা যায়। নিয়মটি নিম্নরূপ ঃ

বাম হস্তের প্রথম তিনটি আঙ্গুল পরস্পরের সহিত সমকোণে রাখিয়া প্রসারিত কর। যদি তর্জনী (forefinger) চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক্ নির্দেশ করে এবং মধ্যমা (middle finger) তড়িৎপ্রবাহের দিক্ নির্দেশ করে তবে বৃদ্ধাঙ্গুলী তারের গতির অভিমুখ নির্দেশ করিবে (6·12 নং চিত্র)। ইহাকে অনেক সময় মোটরের নিয়ম (motor rule) বলা হয়।



চিত্র 6·12

6·7. সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী ঋজু তারের উপর প্রযুক্ত বল (Force on a straight current-carrying conductor placed in a uniform magnetic field) : ধর, P বিন্দুতে m মেরু-শক্তির একটি চৌম্বক মেরু রাখা আছে এবং ঐ মেরু হইতে r দূরে একটি ঋজু তার অবস্থিত। তার দিয়া i e.m.u. তড়িৎপ্রবাহ যাইতেছে [চিত্র 6·12 (a)]। ল্যাপলাসের সূত্রানুযায়ী একটি ক্ষুদ্র অংশ l কর্তৃক P বিন্দুতে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\delta F = \dfrac{i.l.\sin\alpha}{r^2}$



চিত্র 6·12(a)

কাজেই সমগ্র পরিবাহী কর্তৃক উৎপন্ন P বিন্দুর চৌম্বক ক্ষেত্র-প্রাবল্য $F = \Sigma \dfrac{i.\ l.\ \sin\alpha}{r^2}$

বর্তমান ক্ষেত্রে $\alpha = 90°$ এবং $\Sigma\, l = L$ অর্থাৎ পরিবাহীর সমগ্র দৈর্ঘ্য। কাজেই ঋজু পরিবাহী কর্তৃক উৎপন্ন P বিন্দুর চৌম্বক ক্ষেত্র-প্রাবল্য $F = \dfrac{i.L.}{r^2}$

যেহেতু P বিন্দুতে রক্ষিত চৌম্বক মেরুর শক্তি m সেইহেতু ঐ মেরু কর্তৃক অনুভূত বল

$$f = \text{মেরুশক্তি} \times \text{চৌম্বক ক্ষেত্র-প্রাবল্য} = \frac{m.i.L.}{r^2}$$

এখন, প্রত্যেক ক্রিয়ারই সমান এবং বিপরীত প্রতিক্রিয়া আছে। সুতরাং চৌম্বক মেরু কর্তৃক পরিবাহীর উপর প্রযুক্ত বল $f = \dfrac{m.iL.}{r^2}$

চৌম্বক মেরু r দূরে H চৌম্বক ক্ষেত্র-প্রাবল্য উৎপন্ন করিলে আমরা জানি, $H = \dfrac{m}{r^2}$;

যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা ঋজুতারের সর্বত্র অভিলম্ব হয় তবে,

পরিবাহীর উপর প্রযুক্ত বল $= H.i.L.$

পরিবাহীতে যদি n সংখ্যক তারের পাক্ থাকে এবং প্রত্যেক পাকের তড়িৎপ্রবাহ যদি i. e.m.u. হয় তবে ঐ পরিবাহীর উপর প্রযুক্ত বল $= n\ H.i.L.$ এই বলের অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম হইতে নির্ণয় করা যায়। প্রলম্বিত কুণ্ডলী (suspended coil) গ্যালভ্যানোমিটারে এই বলের প্রয়োগ দেখিতে পাওয়া যায় [6·12(ii) অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।

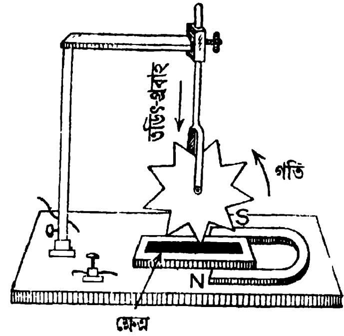
যদি পরিবাহীটি H চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল থাকে, তবে $\alpha = 0$ এবং সেক্ষেত্রে পরিবাহীর উপর প্রযুক্ত বল $f = 0$.

6·8. তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া প্রদর্শনের পরীক্ষা :

বার্লো চক্র (Barlow's wheel) : ইহা কয়েকটি দাঁত্ বিশিষ্ট তারকাকৃতি পাতলা তামার চক্র। একটি অনুভূমিক অক্ষের চতুর্দিকে এই চক্র ঘুরিতে পারে। যন্ত্রের কাঠের পাটা-

তনের উপর একটি সরু লম্বা গর্তের ভিতর কিছু পারদ রাখা থাকে। চক্র ঘুরিবার সময় পর্যায়ক্রমে এক একটি দাঁত এই পারদ স্পর্শ করে। গর্তটি শক্তিশালী অশ্বক্ষুরাকৃতি চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত। দুইটি বন্ধনীর সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ চক্র ও পারদের ভিতর দিয়া তড়িৎকোষে ফিরিয়া যাইতে পারে (6·13 নং চিত্র)। চক্রটি তড়িৎপ্রবাহযুক্ত হওয়ায় এবং চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত বলিয়া বল অনুভব করিবে। এই বলের অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম হইতে নির্ণয় করা যায়।

যদি চক্র দিয়া তড়িৎপ্রবাহ উপর হইতে নীচু দিকে যায় তবে চিত্রে প্রদর্শিত তীর চিহ্নের দিকে চক্র ঘুরিতে সুরু করিবে। যেই একটি দাঁত পারদ হইতে উঠিয়া আসিবে গতি-জড়তার (inertia of motion) জন্য পরবর্তী দাঁত আসিয়া পারদস্পর্শ করিবে এবং তড়িৎপ্রবাহ বজায় রাখিবে। যতক্ষণ পর্যন্ত তড়িৎপ্রবাহ চলিবে ততক্ষণ চক্র প্রবলবেগে ঘুরিতে থাকিবে। যদি চক্র দিয়া তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টা হয় অর্থাৎ, নীচু হইতে উপর দিকে হয় তবে চক্র উল্টা দিকে ঘুরিবে। তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ ঠিক রাখিয়া যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ উল্টাইয়া দেওয়া যায় তাহা হইলেও চক্র উল্টা দিকে ঘুরিবে। বলা বাহুল্য, যদি প্রবাহ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র উভয়কেই একসঙ্গে উল্টানো হয় তবে চক্র যেদিকে ঘুরিতেছিল সেই দিকেই ঘুরিবে। তাছাড়া, প্রবাহ বা চৌম্বক ক্ষেত্রের হ্রাস-বৃদ্ধি করিলে চক্রের আবর্তন বেগেরও যথাক্রমে হ্রাস-বৃদ্ধি হইবে।



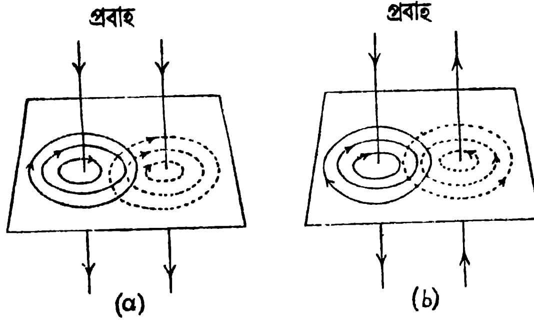
চিত্র 6·13

তড়িৎপ্রবাহের সাহায্যে এই যান্ত্রিক ঘূর্ণনকে (mechanical rotation) মোটর নীতি (principle of motors) বলা হয়।

(গ) দুই তড়িৎপ্রবাহের পারস্পরিক ক্রিয়া
(Action of current on current)

6·9. সূচনা: আমরা পূর্বেই দেখিয়াছি, তড়িদ্বাহী পরিবাহীকে চৌম্বক-ক্ষেত্রে রাখিলে পরিবাহী একটি বল অনুভব করে। এই বলের অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বাম-হস্ত নিয়ম হইতে নির্ণয় করা যায়। এখন যদি দুইটি তড়িদ্বাহী তার কাছাকাছি রাখা যায় তবে প্রত্যেক তারের তড়িৎপ্রবাহ কর্তৃক সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র অপর তারে বলপ্রয়োগ করিবে। 6·14 (*a*) ও (*b*) নং চিত্রে দুইটি সমান্তরাল তার দেখানো হইয়াছে। (*a*) নং চিত্রে উভয় প্রবাহ একমুখী এবং (*b*) নং চিত্রে বিপরীত-মুখী। উভয়ের বেলাতেই একের চৌম্বক ক্ষেত্র অন্যের উপর যে বল প্রয়োগ করিবে তাহা

ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম হইতে নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে প্রথম ক্ষেত্রে উভয় তারের মধ্যে আকর্ষণ ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে।



চিত্র 6·14

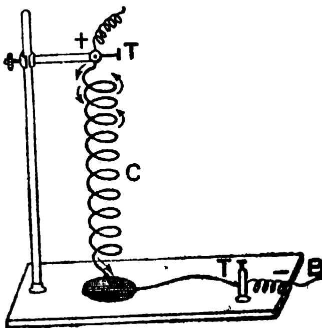
6·10. সমান্তরাল প্রবাহের নিয়ম ঃ

(i) দুইটি একমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

(ii) দুইটি বিপরীতমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

সমান্তরাল প্রবাহের নিয়ম পরীক্ষা ঃ

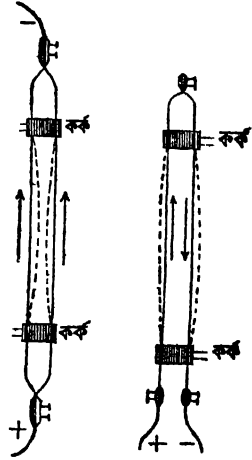
(i) **রজেটের স্পন্দনশীল কুণ্ডলী** (Roget's vibrating spiral) ঃ ইহা দ্বারা দুইটি একমুখী সমান্তরাল প্রবাহের ভিতর আকর্ষণ দেখানো যায়। C একটি সরু তামার তারের কুণ্ডলী বা স্প্রীং (6·15 নং চিত্র)। ইহার উপর প্রান্ত একটি বন্ধনী T-এর সহিত যুক্ত। নীচের প্রান্তে একটি ভার লাগানো থাকে। সাধারণ অবস্থায় ইহা B-পাটাতনের উপর একটি গর্তে রক্ষিত পারদের সহিত স্পর্শযুক্ত। পারদের সহিত অপর একটি বন্ধনী T সংযুক্ত। এই বন্ধনীদ্বয়ের ভিতর তড়িৎকোষ লাগাইলে স্প্রীং-এর ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে। প্রত্যেক দুইটি পর-পর পাকের ভিতর তড়িৎপ্রবাহ সমান্তরাল ও একমুখী। ফলে পাক দুইটি পরস্পরকে আকর্ষণ করিবে এবং এই আকর্ষণ প্রত্যেক দুইটি পর-পর পাকের ভিতর ক্রিয়া করিবে। ইহাতে কুণ্ডলীটি সংকুচিত হয়। কুণ্ডলী সংকুচিত হইলেই ভার পারদ হইতে উঠিয়া আসে। ইহাতে বর্তনী ছিন্ন হয় এবং তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। প্রবাহ বন্ধ হইলে আকর্ষণ বল আর ক্রিয়া করে না। তখন স্প্রীং-এর তলায় ভারের জন্য স্প্রীং প্রসারিত হয় এবং পুনরায় পারদ স্পর্শ করে। এইভাবে যতক্ষণ প্রবাহ চলে ততক্ষণ কুণ্ডলী অনবরত উঠা নামা করে।



চিত্র 6·15

(ii) দুইটি সরু তামার তার দুইটি কর্কের ভিতর দিয়া ঢুকাইয়া খাড়াভাবে আটকানো আছে যাহাতে উহারা পরস্পর স্পর্শ করিতে না পারে। যদি তার দুইটির উপরের ও নীচের প্রান্তদ্বয় জুড়িয়া দিয়া [6·16 (i) নং চিত্র] তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হয় তবে উভয় তারে প্রবাহ একমুখী ও সমান্তরাল হইবে। ফলে তার দুইটি পরস্পরকে আকর্ষণ করিয়া সামান্য ভিতরের দিকে বাঁকিয়া যাইবে (কাটা কাটা লাইন দিয়া দেখানো হইয়াছে)।

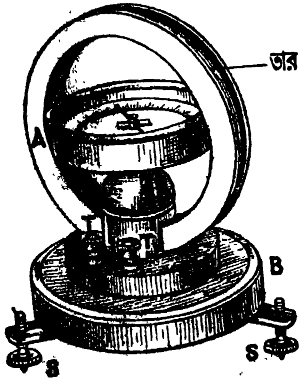
আর যদি শুধু উপরের প্রান্তদ্বয় জুড়িয়া নীচের খোলা প্রান্ত দুইটিতে তড়িৎকোষ লাগাইয়া [6·16 (ii) নং চিত্র] প্রবাহ পাঠানো হয় তবে উভয় তারে প্রবাহ সমান্তরাল কিন্তু বিপরীতমুখী হইবে; ফলে, তার দুইটি পরস্পরকে বিকর্ষণ করিয়া ফুলিয়া উঠিবে।



(i) চিত্র 6·16 (ii)

6·11. গ্যালভ্যানোমিটার (Galvanometers): যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন তড়িৎ বর্তনীর প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করা যায় তাহাকে গ্যালভ্যানোমিটার বলে। চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া, তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া প্রভৃতি বিভিন্ন ঘটনা অবলম্বন করিয়া নানাপ্রকারের গ্যালভ্যানোমিটার যন্ত্র উদ্ভাবন করা হইয়াছে। এই সকল গ্যালভ্যানোমিটারের মধ্যে ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার এবং ডি-আরসোন-ভ্যাল গ্যালভ্যানোমিটার খুবই উল্লেখযোগ্য।

(i) **ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার** (Tangent galvanometer): এই যন্ত্রে তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফলের প্রয়োগ করা হইয়াছে।



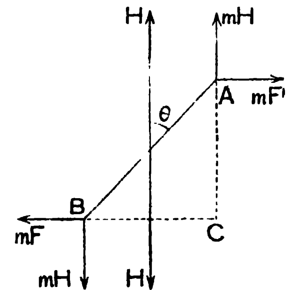
চিত্র 6·17

6·17 নং চিত্রে একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের ছবি দেখানো হইল। কয়েক পাক অন্তরিত তামার তার একটি উল্লম্ব (vertical) কাঠের গোল ফ্রেমের খাঁজে জড়ানো থাকে। এই তারের দুই প্রান্ত একটি অনুভূমিক পাটাতন B-এর উপর আটকানো বন্ধনীর (T, T) সহিত যুক্ত। পাটাতনকে অনুভূমিক করিবার জন্য কয়েকটি স্ক্রু (S, S) দেওয়া আছে। তার-জড়ানো ফ্রেম একটি উলম্ব অক্ষের (vertical axis) সাপেক্ষে আবর্তন করিতে পারে। এই ফ্রেমের অর্থাৎ তার-কুণ্ডলীর কেন্দ্রস্থলে একটি অনুভূমিক বৃত্তাকার কাচের ঢাকনা যুক্ত চাকতি A লাগানো আছে। এই চাকতির কেন্দ্রে অর্থাৎ তারকুণ্ডলীর কেন্দ্রে একটি ছোট চুম্বক-শলাকা এমনভাবে আটকানো আছে যে চুম্বক বাধাহীন-ভাবে অনুভূমিক তলে আবর্তিত হইতে পারে। এই চুম্বকের সহিত সমকোণে একটি লম্বা অ্যালু-

মিনিয়াম কাঁটা (pointer) আটকানো থাকে। এই কাঁটা একটি অনুভূমিক স্কেলের উপর ঘুরিতে সক্ষম। স্কেলটি $0°-90°$ ভাগে চারিটি পাদে (quadrant) বিভক্ত থাকে। কাঁটা স্কেলের উপর যে কোণে আবর্তিত হইবে চুম্বকের আবর্তন-কোণও তাহাই হইবে।

যন্ত্রের সমন্বয় (Adjustment of the instrument) : এই যন্ত্র ব্যবহার করিতে হইলে সর্বপ্রথম S, S স্ক্রু-গুলির সাহায্যে পাটাতন B অনুভূমিক করিয়া লইতে হইবে। অতঃপর ফ্রেমকে ঘুরাইয়া ইহার তল এবং চুম্বকের তল এক করিতে হইবে। এই অবস্থায় চুম্বক ও ফ্রেম চৌম্বক মধ্যতলের অবস্থান নির্দেশ করে। ইহার ফলে কাঁটা স্কেলের $0°-0°$ দাগের সহিত মিশিয়া থাকিবে। এইবার T, T বন্ধনীদ্বয়ের সহিত তড়িৎ প্রবাহযুক্ত বর্তনী যোগ করিলে বৃত্তাকার তার দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে। আমরা দেখিয়াছি, ইহার ফলে বৃত্তের কেন্দ্রের চতুর্দিকে কিছু স্থান ব্যাপিয়া সমবল চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। সুতরাং চুম্বক N-S এই চৌম্বক-ক্ষেত্রের দ্বারা বিক্ষিপ্ত হইবে। কাঁটার সাহায্যে স্কেল হইতে বিক্ষেপকোণ নির্ণয় করিতে হইবে।

মূলতত্ত্ব (Theory) : প্রথমে যন্ত্রকে লেভেল করিয়া কাঠের ফ্রেমকে এমনভাবে ঘুরাইতে হইবে যে ফ্রেম এবং চুম্বকশলাকা একই তলে অবস্থান করে। যেহেতু চুম্বকশলাকা চৌম্বক মধ্যতলে অবস্থান করিতেছে, সেইহেতু ফ্রেমের তলও চৌম্বক মধ্যতলে থাকিবে। এই অবস্থায় অ্যালুমিনিয়াম সূচক $0°-0°$ পাঠ দেখাইবে। এখন কুণ্ডলী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হইবে এবং ক্ষেত্রের অভিমুখ কুণ্ডলীর তলের অভিলম্ব হওয়ায়, এই ক্ষেত্র ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রেরও অভিলম্ব হইবে। ফলে, চুম্বকশলাকা চৌম্বক মধ্যতল হইতে বিচ্যুত হইবে। সঙ্গে সঙ্গে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র শলাকার উপর ক্রিয়া করিয়া শলাকাকে পুনরায় চৌম্বক মধ্যতলে ফিরাইয়া আনিবার চেষ্টা করিবে। অর্থাৎ চুম্বকশলাকার উপর যুগপৎ দুইটি দ্বন্দ্ব বা কাপল্ (couple) ক্রিয়া করিবে এবং এই দুইটি কাপ্লের অধীনে থাকিয়া শলাকা একটি বিশেষ কোণে বিক্ষিপ্ত হইবে।



চিত্র 6·18

মনে কর, AB শলাকা θ কোণে বিক্ষিপ্ত হইল (6·18 নং চিত্র)। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক অংশং H, তড়িৎপ্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য F এব শলাকার মেরুশক্তি m হইলে শলাকার উপর (mH, mH) এবং (mF, mF) দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করিবে (ছবি দেখ)। শলাকার স্থিরাবস্থায় এই দুই দ্বন্দ্বের ভ্রামক বা মোমেন্ট সমান হইবে।

এখন, mF দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mF \times AC = mF \times AB \cos\theta$

আবার mH দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mH \times BC = mH \times AB \sin\theta$.

$\therefore \quad mF \times AB \cos = mH \times AB \sin\theta$, or, $F = H.\tan\theta$.

এখন কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা $= n$, প্রবাহ-মাত্রা $= I$. e.m.u. এবং কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ $= r$ cm. হইলে, প্রমাণ করা যায় $F = \dfrac{2\pi.n.I}{r}$ [6·3 (ii) অনুচ্ছেদ দেখ]

$$\frac{2\pi nI}{r}=H.\tan\theta. \quad \text{or} \quad I=\frac{H}{2\pi n}\tan\theta$$

$$\text{or, } I=\frac{H}{G}\tan\theta \left[G=\frac{2\pi n}{r}=\text{গ্যালভ্যানোমিটার ধ্রুবক} \right]$$

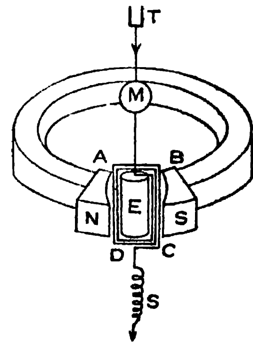
$$=K.\tan\theta.\left[K=\frac{H}{G}=\text{লঘু গুণক [Reduction factor]} \right]$$

যদি I প্রবাহ অ্যাম্পীয়ারে প্রকাশ করা হয় তবে, $I=10\ K\tan\theta$.

সুতরাং লঘুগুণক K এর মান জানা থাকিলে এবং স্কেল হইতে θ পাঠ করিলে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা নির্ণয় করা যায়।

(ii) <u>ডি-আরসোনভ্যাল গ্যালভ্যানোমিটার</u> (D'Arsonval galvanometer) এই গ্যালভ্যানোমিটারে কুণ্ডলীটি প্রলম্বিত (suspended) থাকে এবং একটি স্থায়ী চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রে স্বাধীনভাবে আবর্তন করিতে পারে। এই যন্ত্রের মূলনীতি হইতেছে তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া।

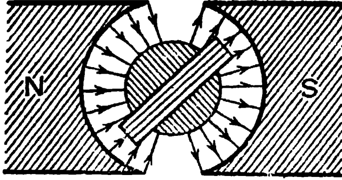
বিবরণ ঃ ABCD তারের একটি চতুষ্কোণ কুণ্ডলী। কয়েকপাকের অন্তরিত সরু তার একটি হাল্কা ধাতব ফ্রেমের (পিতল অথবা অ্যালুমিনিয়াম নির্মিত) উপর জড়াইয়া এই কুণ্ডলী তৈরী করা হয়। পাতলা ফসফর-ব্রোঞ্জ রজ্জু দ্বারা কুণ্ডলীকে একটি স্থায়ী অশ্ব-খুর চুম্বকের দুই মেরুর (N – S) মধ্যবর্তী স্থানে ঝুলাইয়া রাখা হয় (চিত্র নং 6.19)। কুণ্ডলীর নিম্নপ্রান্ত একটি ছোট স্প্রীং S-এর সহিত যুক্ত। এই স্প্রীংটিও ফসফর ব্রোঞ্জের তৈরী। কুণ্ডলীর উপরিস্থিত ফসফসর ব্রোঞ্জ ঝুলনরজ্জুর উপর প্রান্ত একটি ব্যবর্ত শির T-এর সহিত সংযুক্ত। তড়িৎ-প্রবাহ ফসফর ব্রোঞ্জ ঝুলনরজ্জু দিয়া আসিয়া ABCD কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া গিয়া স্প্রীং S-এ যায় এবং পুনরায় বহির্বর্তনীতে ফিরিয়া যায়। নরম লোহার চোঙাকৃতি একটি টুকরা E কুণ্ডলীর মাঝখানে কাঠের বোর্ডে আবদ্ধ থাকে। কুণ্ডলী ঐ টুকরাকে স্পর্শ না করিয়া টুকরা এবং চৌম্বক মেরুদ্বয়ের ফাঁকের মধ্যে অবাধে ঘুরিতে পারে। এই চোঙাকৃতি টুকরা রাখিবার ফলে চৌম্বক ক্ষেত্র খুব তীব্র হয়। ফসফর ব্রোঞ্জ ঝুলনরজ্জুর সহিত এক টুকরা গোলাকার দর্পণ M আবদ্ধ থাকে। ঐ দর্পণের উপর আলোকরশ্মি ফেলিয়া এবং প্রতিফলিত আলোকরশ্মিকে একটি স্কেলের উপর গ্রহণ করিয়া (ইহাকে আলোক এবং স্কেল পদ্ধতি বলা হয়) কুণ্ডলীর বিক্ষেপ পরিমাপ করা হয়।



চিত্র 6·19

অশ্বখুর চুম্বকের মেরুমুখ দুইটি সমতল না করিয়া চোঙাকৃতি করা হয় এবং E নরম

লোহার চোঙের সহিত সমাক্ষীয় করা হয়। ইহার সুবিধা এই যে, চৌম্বক ক্ষেত্র ব্যাসার্ধমুখী (radial) হয়—অর্থাৎ বলরেখাগুলি সর্বদা চতুষ্কোণ কুণ্ডলীর তলের সমান্তরাল হয় [চিত্র নং 6.19]।



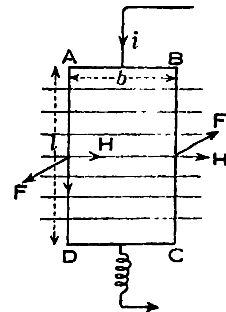
চিত্র 6·20

কার্যনীতি ঃ যখন কুণ্ডলী দিয়া কোন তড়িৎপ্রবাহ থাকে না, তখন কুণ্ডলী এমন অবস্থায় স্থির হইয়া দাঁড়ায় যে উহার তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল হয় এবং ঝুলন-রজ্জুতে কোন পাক (twist) থাকে না। কুণ্ডলী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ গেলে, কুণ্ডলী চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব ভাবে নিজেকে স্থাপিত করিবার চেষ্টা করে এবং বিক্ষিপ্ত হয়। ফলে, ঝুলন-রজ্জুতে পাক ধরে এবং ইহা কুণ্ডলীর উপর বিপরীতমুখী একটি দ্বন্দ্ব আরোপ করে। তড়িৎপ্রবাহের দরুন দ্বন্দ্ব এবং ঝুলন-রজ্জুতে পাকের দরুন বিপরীত দ্বন্দ্ব পরস্পরের সমান হইলে, কুণ্ডলী বিক্ষিপ্ত অবস্থায় স্থির হইয়া দাঁড়ায় এবং স্কেলের উপর দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত আলোকরশ্মির সরণ লক্ষ্য করিয়া ঐ বিক্ষেপ পরিমাপ করা হয়। এই বিক্ষেপ তড়িৎপ্রবাহের সমানুপাতিক হওয়ায়, ইহা হইতে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করা যায়।

মূলতত্ত্ব ঃ (Theory) ঃ ধর, ABCD চতুষ্কোণ কুণ্ডলীর উল্লম্ব দৈর্ঘ্য $=l$, প্রস্থ$=b$; $H=$চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য; $n.=$কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা (number of turns) এবং $i=$তড়িচ্চুম্বকীয় এককে কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা।

তড়িৎপ্রবাহ যাইবার ফলে কুণ্ডলীর প্রতিটি উল্লম্ব বাহু কুণ্ডলীর তলের অভিলম্বভাবে একটি বল অনুভব করিবে [6·7 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য] এবং ঐ বল F হইলে, $F=n.H.i.l.$ [চিত্র নং 6·21]।

এই বলের অভিমুখ দুই উল্লম্ব বাহুতে বিপরীতমুখী হইবে কারণ দুই বাহুতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বিপরীত। বলা বাহুল্য, যেকোন বাহুতে বলের এই অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম প্রয়োগ করিয়া পাওয়া যায়। চিত্র হইতে সহজে বোঝা যায় যে এই দুইটি বল দ্বন্দ্বের উৎপত্তি করে এবং ঐ দ্বন্দ্বের প্রভাবে কুণ্ডলীটি স্থির-অবস্থান হইতে বিক্ষিপ্ত হয়। তখন ঝুলন-রজ্জু মোচড় খাইয়া একটি বিপরীত দ্বন্দ্বের উৎপত্তি করে। যখন কুণ্ডলীটি স্থির অবস্থানে আসে (ধর, θ কোণে বিক্ষিপ্ত হইয়া) তখন এই দুই বিরুদ্ধ দ্বন্দ্বের ভ্রামক সমান হয়।



চিত্র 6·21

এখন, F-বল যে দ্বন্দ্ব উৎপন্ন করে, তাহার ভ্রামক$=F\times b=n.H.i.l.b.$

আবার, একক মোচড়ের দরুন ঝুলনরজ্জুতে ব্যাবর্ত-দ্বন্দ্বের ভ্রামক (couple for torsional rigidity) C হইলে, θ মোচড়ের জন্য ব্যাবর্ত-দ্বন্দ্বের ভ্রামক$=C.\theta.$

যেহেতু কুণ্ডলী স্থির অবস্থানে আছে সেইহেতু, $n.H.i.l.b.=C.\theta.$

অথবা $n.H.i.A.=C.\theta.$ [A=কুণ্ডলীর মুখের ক্ষেত্রফল$=l\times b$]

$$\therefore\ i=\frac{C}{nHA}.\ \theta \text{ ই. এম. ইউ.}$$

$$=K.\ \theta \left[\ K=\frac{C}{nHA}\ \text{ধ্রুবক}\ \right]$$

অর্থাৎ, $i \propto \theta.$

সুতরাং এই গ্যালভ্যানোমিটারে প্রবাহমাত্রা বিক্ষেপ কোণের সমানুপাতিক।

গ্যালভ্যানোমিটারের সুবিধা (Advantages of the galvanometer) : এই গ্যালভ্যানোমিটারের নিম্নলিখিত সুবিধা আছে ঃ (i) এই গ্যালভ্যানোমিটারে কোন চুম্বক শলাকা ব্যবহার করিতে হয় না বলিয়া ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের কোন প্রভাব ইহার উপর নাই। তাই ইহাকে সুবিধামত যে-কোন স্থানে বসানো যাইতে পারে। (ii) অশ্বখুর চৌম্বক মেরু এত তীব্র চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে যে আকস্মিক বহিরাগত কোন চৌম্বক ক্ষেত্র ইহার কার্যে বিঘ্ন ঘটাইতে পারে না। (iii) পাক্ সংখ্যা, কুণ্ডলীর মুখের ক্ষেত্রফল, ঝুলনরজ্জুর ব্যবর্ত-দৃঢ়তা প্রভৃতি সুবিধামত নিয়ন্ত্রণ করিয়া এই যন্ত্রকে খুব সুবেদী করা যায় এবং ক্ষীণ প্রবাহমাত্রা পরিমাপের উপযোগী করা যায়। (iv) প্রবাহমাত্রা বিক্ষেপ কোণের সমানুপাতিক হওয়ায়, প্রবাহমাত্রা পরিমাপে সুষম অংশাঙ্কিত স্কেল ব্যবহার করা যায়। (v) যন্ত্রটি 'ডেড-বিট' (dead beat) —অর্থাৎ একবার বিক্ষিপ্ত হইলে দ্রুত স্থির অবস্থানে ফিরিয়া আসিতে পারে—বহুক্ষণ যাবৎ আন্দোলিত হয় না।

Examples (1) একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের পাক সংখ্যা 100 এবং উহাদের গড় ব্যাসার্ধ 10 cm.; যখন গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ 60°, তখন অ্যাম্পীয়ারে প্রবাহমাত্রা কত? ($H=0{\cdot}37$; $\tan 60°=1{\cdot}7321$)

উ। আমরা জানি, $i=\frac{10.H.r}{2\pi n.}.\tan\theta=\frac{10\times0{\cdot}37\times10\times1{\cdot}7321}{2\times3{\cdot}14\times100}$

$=0{\cdot}1021$ amp.

(2) শ্রেণী সমবায়ে আবদ্ধ দুইটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারে একই প্রবাহমাত্রা পাঠানো হইল। দুই গ্যালভ্যানোমিটারেই সমান বিক্ষেপ সৃষ্টি হইল। প্রথম গ্যালভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীতে 110 পাক এবং দ্বিতীয়টিতে 25 পাক থাকিলে, উহাদের ব্যাসার্ধদ্বয়ের তুলনা কর।

উ। গ্যালভ্যানোমিটার দুইটি শ্রেণী সমবায়ে থাকায় উভয়ের মধ্য দিয়া একই প্রবাহ যাইতেছে।

এখন, আমরা জানি, $i=\frac{H.r}{2\pi n.}\ \tan\theta$ [r=কুণ্ডলীর ব্যসার্ধ]

ইহা হইতে দেখা যায় যে অন্যান্য রাশিগুলি অপরিবর্তিত থাকিলে $\frac{r}{n}$=ধ্রুবক।

$$\therefore \frac{r_1}{n_1}=\frac{r_2}{n_2}\ \text{অথবা,}\ \frac{r_1}{r_2}=\frac{n_1}{n_2}=\frac{110}{25}=\frac{22}{5}$$

(3) একটি ডি-আরসোনভ্যাল গ্যালভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 60, প্রস্থ 2 cm. এবং দৈর্ঘ্য 3cm.; কুণ্ডলীটি 500 c.g.s. এককের সুষম ব্যাসার্ধমুখী চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রলম্বিত আছে। ঝুলনরজ্জুতে মোচড়ের দরুন নিয়ন্ত্রক দ্বন্দ্ব 18 dyne-cm হইলে, কুণ্ডলী দিয়া মিলি-অ্যাম্পীয়ারে কত প্রবাহ যাইতেছে?

উ। আমরা জানি,

$$i=\frac{C\theta}{nHA}\ e.m.u.=\frac{10.C\theta}{nHA}\ \text{amp}=\frac{10.C.\theta}{nHA}\times 10^{3}\ \text{milli-amp.}$$

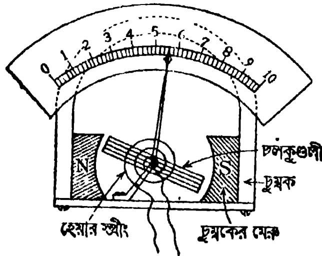
এখন, $C.\theta=18$ dyne-cm. ; $n=60$, $H=500$ C.G.S. ;

$A=3\times 2=6$ sq. cm.

অতএব, $$i=\frac{10\times 18\times 10^{3}}{60\times 500\times 6}=1\text{milli-amp.}$$

6·12 অ্যামমিটার এবং ভোল্টমিটার (Ammeter and Voltmeter): যে যন্ত্র অ্যাম্পীয়ার এককে তড়িৎপ্রবাহ পরিমাপ করে তাহাকে অ্যামমিটার এবং বিভব-প্রভেদ ভোল্ট এককে পরিমাপ করে তাহাকে ভোল্টমিটার বলে। উভয় যন্ত্রই প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের নীতি অনুযায়ী কাজ করে। এই যন্ত্রের আকৃতি 6·21 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

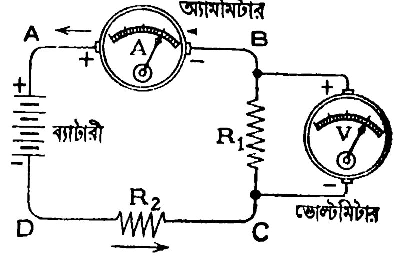
সরু তামার তারের একটি কুণ্ডলীকে একটি স্থায়ী চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মাঝে এমনভাবে আবদ্ধ রাখা হয় যে উহার আবর্তন একটি হেয়ারস্প্রীং-এর দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। কুণ্ডলী যত উহার সাম্য-অবস্থান অথবা 0-দাগের অবস্থান হইতে ঘুরিয়া যাইবে তত উহার উপর নিয়ন্ত্রণ বল প্রযুক্ত হইবে। এই কুণ্ডলীর সহিত একটি দীর্ঘ সূচক যুক্ত থাকে যাহা স্কেল বরাবর আবর্তন করিতে পারে। অ্যামমিটারের ক্ষেত্রে স্কেলটি অ্যাম্পীয়ারে এবং ভোল্টমিটারের ক্ষেত্রে ভোল্টে অংশাঙ্কিত থাকে। ভোল্টমিটার বা অ্যামমিটারের চলকুণ্ডলীর ভিতর দিয়া যত বেশী মাত্রায় প্রবাহ যাইবে, উহার উপর বিক্ষেপ দ্বন্দ্ব (deflecting couple) তত বেশী হইবে এবং কুণ্ডলী তত বেশী ঘুরিয়া যাইবে যতক্ষণ পর্যন্ত না হেয়ারস্প্রীং প্রযুক্ত প্রত্যানয়নকারী দ্বন্দ্ব (restoring couple) উহার সমান হইয়া সাম্য প্রতিষ্ঠা করে।



চিত্র 6·21

যখন বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ মাপিবার জন্য যন্ত্রকে অ্যামমিটার হিসাবে ব্যবহার করা হইবে তখন উহাকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিতে হইবে যাহাতে বর্তনীর মূল- প্রবাহ ঐ যন্ত্রের ভিতর দিয়া যাইতে পারে। 6·22 নং চিত্রের বর্তনীতে অ্যামমিটার শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত হইয়াছে। এইভাবে বর্তনীতে অ্যামমিটার যুক্ত করিবার ফলে যাহাতে বর্তনীর প্রবাহমাত্রার কোনরূপ পরিবর্তন না ঘটে সেইজন্য অ্যামমিটারের সহিত সর্বদা একটি নিম্নমানের রোধক সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিয়া যন্ত্রের রোধ খুব কম করা হয়। এই রোধককে অ্যামমিটারের সান্ট বলা হয়।

পক্ষান্তরে, যখন বর্তনীর কোন অংশের বিভব-প্রভেদ মাপিবার জন্য যন্ত্রকে ভোল্টমিটার হিসাবে ব্যবহার করিবার প্রয়োজন হয় তখন উহাকে ঐ অংশের সমান্তরালে যুক্ত করিতে হয়। যদি মনে করা যায় যে, R_1 রোধকের প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ পরিমাপ করিতে হইবে তাহা হইলে যন্ত্রকে 6·22 নং চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপ R_1 রোধকের সহিত সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিতে হইবে। অনুরূপভাবে R_2 রোধকের প্রান্তীয় বিভব-প্রভেদ মাপিবার প্রয়োজন হইলে, যন্ত্রকে C এবং D বিন্দুর ভিতর অথবা ব্যাটারীর বিভব-প্রভেদের প্রয়োজন হইলে যন্ত্রকে A এবং D বিন্দুর ভিতর যোগ করিতে হইবে। বর্তনীতে ভোল্ট-মিটারের সংযোগের ফলে যাহাতে বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহের কোন পরিবর্তন না হয় সেইজন্য যন্ত্রকে উচ্চ রোধযুক্ত করা হয়। যন্ত্রের কুণ্ডলীর নিজস্ব রোধ উচ্চমানের না হইলে, উহার সহিত শ্রেণী সমবায়ে একটি উচ্চ মানের অতিরিক্ত রোধক যুক্ত করিয়া লওয়া হয়।



চিত্র 6·22

অনেক সময় খুব ক্ষীণ তড়িৎপ্রবাহ বা বিভবপ্রভেদ পরিমাপের জন্য সুবেদী যন্ত্রের প্রয়োজন হয়। অ্যাম্পীয়ারের হাজার ভাগের একভাগ অথবা ভোল্টের হাজার ভাগের এক ভাগ মাপিতে সক্ষম যে যন্ত্র তাহাকে বলা হয় মিলি-অ্যামমিটার বা মিলি-ভোল্টমিটার। তেমনি, মাইক্রো-অ্যামমিটার বা মাইক্রোভোল্টমিটার যন্ত্র এক মিলি-অ্যাম্পীয়ার বা এক মিলিভোল্টের হাজার ভাগের এক ভাগ পরিমাপ করিতে পারে।

Exercises

1. একটি খাড়া অবলম্বনের উপর একটি ছোট সূচী-চুম্বক আলম্বিত আছে। একটি তড়িৎ-বাহী তারকে চুম্বকের অক্ষ বরাবর চুম্বকের উপরে রাখিলে চুম্বকের অবস্থান কিরূপ হইবে? নিম্ন-লিখিত ক্ষেত্রে চুম্বকের অবস্থানের কিরূপ পরিবর্তন লক্ষ্য করা যাইবে ঃ—

(i) তারটি চুম্বকের উপর, (ii) তারটি চুম্বকের নীচে, (iii) প্রবাহের অভিমুখ উল্টা হইলে।

[*cf. H.S. Exam. 1961*]

2. একটি তামার তার একটি সূচী-চুম্বকের উপর দিয়া পূর্ব-পশ্চিম দিকে আটকানো আছে। যদি ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরু ঐ তারের পশ্চিম প্রান্তে এবং ঋণাত্মক মেরু পূর্ব প্রান্তে যুক্ত থাকে, তবে সূচী-চুম্বক কিরূপ ব্যবহার করিবে? [*cf. H.S. Exam. 1967*]

3. চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া কিরূপে প্রদর্শন করিবে? চুম্বকের বিক্ষেপের অভিমুখ নির্ণয় সংক্রান্ত নিয়মটি ব্যাখ্যা কর।

4. তড়িৎবাহী ঋজু পরিবাহী যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে তাহা কিরূপে প্রদর্শন করিবে? ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা আঁক এবং তড়িৎপ্রবাহ ও বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ কর।

5. তড়িৎবাহী চক্রাকার পরিবাহী যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে তাহা প্রদর্শনের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা আঁক এবং বলরেখা ও তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ কর। ঐ চক্রাকার পরিবাহীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?

6. চিত্রাঙ্কন করিয়া নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা কর :—

(a) তড়িৎবাহী ঋজু পরিবাহী, (b) তড়িৎবাহী চক্রাকার পরিবাহী, (c) তড়িৎবাহী সলিনয়েড। [*H. S. Exam. 1963*]

7. ল্যাপলাসের সূত্র বিবৃত কর। তড়িৎপ্রবাহের তড়িৎ-চুম্বকীয় একক কাহাকে বলে? ইহার সহিত তড়িৎপ্রবাহের ব্যবহারিক এককের সম্পর্ক কি?

8. তড়িৎবাহী পরিবাহীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে উহা যে বিক্ষিপ্ত হয় তাহা প্রদর্শনের এক পরীক্ষা বর্ণনা কর। পরিবাহী বিক্ষেপের দিক নির্দেশ করিবার প্রয়োজনীয় নিয়মটি কি?

[*H. S. Exam. 1962*; *cf 1963* (*Comp*)]

9. তড়িৎপ্রবাহের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া প্রদর্শনের কয়েকটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। রজেটের কম্পনশীল কুণ্ডলীর নীতি ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

10. বার্লো চক্র বর্ণনা কর এবং কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। একটি পরিষ্কার চিত্র আঁক। ইহা দ্বারা কি বোঝা যায়? [*H. S. Exam. 1960, '64, '67*]

11. বার্লো চক্রের আবর্তনের অভিমুখের উপর নিম্নলিখিত বিষয়গুলির ফলাফল কি হইবে? (i) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ উল্টাইলে, (ii) প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইলে, (iii) চৌম্বক ক্ষেত্র এবং প্রবাহ—উভয়ের অভিমুখ একসঙ্গে উল্টাইলে।

চক্রের আবর্তনের উপর নিম্নলিখিত বিষয়গুলির ফলাফল কি হইবে :—(i) প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি করিলে, (ii) চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বৃদ্ধি করিলে।

12. ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার কি? উহার ঐ নাম কেন? ঐ যন্ত্রের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহমাত্রা কিরূপে পরিমাপ করা যায়?

13. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের বর্ণনা ও কার্যপ্রণালী লেখ। ঐ যন্ত্রের 'লঘু-গুণক' এবং 'গ্যালভ্যানোমিটার ধ্রুবক' বলিতে কি বোঝ?

একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারে (i) কুণ্ডলীর তল চৌম্বক মধ্যরেখায় না থাকিলে (ii) কুণ্ডলী উল্লম্বতলে না থাকিলে এবং (iii) চুম্বক শলাকা ছোট না হইলে, কি হইবে ব্যাখ্যা কর।

14. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 11 cm; পাক সংখ্যা 7 এবং *H*-এর মান 0·2 c.g.s. হইলে, অ্যাম্পীয়ার এককে কত প্রবাহমাত্রা $45°$ বিক্ষেপ সৃষ্টি করিবে?

[Ans. 0·5 amp]

15. 10 ohm রোধের একটি ব্যাটারীকে শ্রেণী সমবায়ে একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত যুক্ত করা হইল। ঐ গ্যালভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 100 এবং রোধ 40 ohms; ইহাতে $45°$ বিক্ষেপ হইল। কুণ্ডলীর 50টি পাক সংখ্যা ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করিলে বিক্ষেপ কত হইবে? [Ans. $39° 48'$]

16. একটি প্রলম্বিত কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী লেখ। ঐ গ্যাল-ভ্যানোমিটারের সুবিধা কি?

17. (ক) একটি অ্যামমিটার এবং (খ) একটি ভোল্টমিটার বর্ণনা কর।

18. অ্যামমিটার এবং ভোল্টমিটারের ভিতর পার্থক্য কি? বর্তনীতে উহাদের কিভাবে সংযুক্ত করা হয়? ইহার একটি পরিষ্কার চিত্র আঁক।

সপ্তম পরিচ্ছেদ

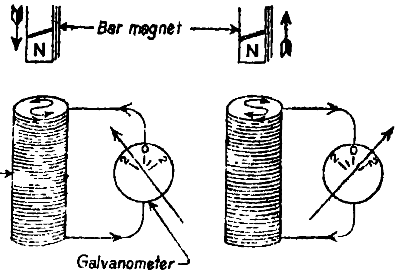
তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ

(Electro-magnetic induction)

7·1. **সূচনা :** 1820 খ্রীষ্টাব্দে যখন ওরস্টেড আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎপ্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করিতে পারে তখন বিজ্ঞানীদের মনে কৌতূহল হইল, চৌম্বক-ক্ষেত্র তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করিতে পারে কি না? বিজ্ঞানীদের এই কৌতূহলের নিরসন করেন বিখ্যাত আবিষ্কারক মাইকেল ফ্যারাডে। 1831 খ্রীষ্টাব্দে মাইকেল ফ্যারাডে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ আবিষ্কার করেন। তিনি দেখিতে পান **একটি চুম্বক বা তড়িদ্‌বাহী বর্তনীর সাহায্যে অন্য একটি সংহত বর্তনীতে** (closed circuit) **ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করা যায়।** এই ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বলকে আবিষ্ট (induced) তড়িচ্চালক বল এবং এই ঘটনাকে **তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ বলা হয়।** ফ্যারাডের এই আবিষ্কার তড়িদ্‌বিজ্ঞানের সুদূরপ্রসারী পরিবর্তন আনিয়াছে, কারণ, এই আবিষ্কারের ফলে জেনারেটার, ট্রান্সফর্মার এবং অন্যান্য প্রয়োজনীয় তড়িৎ-যন্ত্রের উদ্ভাবন সম্ভব হইয়াছে।

7·2. **তড়িৎচুম্বকীয় আবেশ সম্পর্কিত পরীক্ষা :**

(ক) চুম্বক কর্তৃক আবিষ্ট প্রবাহ : (Current induced by a magnet) : কয়েক ইঞ্চি লম্বা ও প্রায় এক ইঞ্চি ব্যাসযুক্ত একটি কার্ডবোর্ডের চোঙের উপর 150 কি 200 পাক তামার তার জড়াও। চোঙকে খাড়াভাবে রাখিয়া তারটির দুইপ্রান্ত একটি সুবেদী (sensitive) গ্যালভ্যানোমিটার যন্ত্রের সহিত যুক্ত কর। এই যন্ত্রের দ্বারা কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহের অস্তিত্ব বোঝা যায়, কারণ, বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ হইলে গ্যালভ্যানোমিটার কাঁটার বিক্ষেপ হয়।



(a) চিত্র 7·1 (b)

এইবার একটি দণ্ড-চুম্বক লইয়া উহার N-মেরু নিম্নাভিমুখী করিয়া তাড়াতাড়ি চোঙের ভিতর ঢুকাও। দেখিবে, গ্যালভ্যানোমিটার কাঁটার ক্ষণিক বিক্ষেপ (sudden deflection) হইলে [[7.1(*a*) নং চিত্র]। চুম্বককে এইবার তাড়াতাড়ি চোঙ হইতে বাহির করিয়া লও। দেখিবে, আবার কাঁটার ক্ষণিক বিক্ষেপ হইল—কিন্তু উল্টা দিকে [7.1(*b*) নং চিত্র]। ইহাও লক্ষ্য করিবে, যতক্ষণ চুম্বক চোঙের ভিতর স্থির থাকে ততক্ষণ কোন বিক্ষেপ হয় না। চুম্বক গতিশীল হইলেই কাঁটার বিক্ষেপ হয়।

ইহা হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি, চুম্বকের এই প্রকার গতিদ্বারা কোন সংহত বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট করা যায়। ইহার অর্থ এই যে, কুণ্ডলী যে চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত (এখানে,

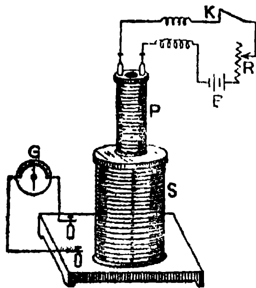
দণ্ডক-চুম্বক কর্তৃক সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র) সেই চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন পরিবর্তন হইলেই কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয়। অথবা যে চৌম্বক বলরেখাগুলি কুণ্ডলীকে ছেদ করে তাহার কোন পরিবর্তন হইলেই কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয়।

আমরা জানি, সলিনয়েড কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ হইলে সলিনয়েড নিজে চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে এবং উহার দুই মুখে মেরুর উদ্ভব হয়। উপরোক্ত পরীক্ষায় দণ্ড-চুম্বককে কুণ্ডলীতে ঢুকাইবার এবং বাহির করিবার সময় কুণ্ডলীতে যেদিকে তড়িৎপ্রবাহ হয় তাহা লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, কুণ্ডলীর উপর মুখে 7·1 নং চিত্রে যেমন দেখানো হইয়াছে ঐরূপ মেরুর উদ্ভব হয় [6·3 (iii) অনুচ্ছেদে সলিনয়েডের নিয়ম দ্রষ্টব্য]। অর্থাৎ, দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু ঢুকাইবার সময় তড়িৎ-প্রবাহের জন্য কুণ্ডলীর উপরের মুখে N-মেরুর উদ্ভব হইবে এবং বাহির করিয়া লইবার সময় S-মেরুর উদ্ভব হইবে। যদি দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু না ঢুকাইয়া S-মেরু ঢুকান হয় তবে ঢুকাইবার সময় কুণ্ডলীর উপরের মুখে S-মেরু এবং বাহির করিয়া লইবার সময় N-মেরুর উদ্ভব হইবে।

এই ব্যাপারকে লেঞ্জ (Lenz) একটি সূত্রের আকারে উপস্থাপিত করিয়াছেন এবং ইহাকে **লেঞ্জের সূত্র** বলে। সূত্রটি নিম্নরূপঃ

যে-কোন তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ এমন হইবে যে, যে-কারণে প্রবাহের সৃষ্টি হয় প্রবাহ সর্বদা সেই কারণকে বাধা দিবে।

যদি বেশী সংখ্যার পাকের কুণ্ডলী লইয়া অথবা শক্তিশালী দণ্ড-চুম্বককে আরো দ্রুতগতিতে নাড়াইয়া উপরোক্ত পরীক্ষাগুলি করা যায় তবে দেখা যায় প্রত্যেক ক্ষেত্রেই আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ-মাত্রা বৃদ্ধি পাইয়াছে। আমরা যে-কোন চৌম্বক ক্ষেত্রকে কতকগুলি চৌম্বক বলরেখা দ্বারা প্রকাশ করিতে পারি। সুতরাং দণ্ড-চুম্বক কুণ্ডলীর নিকটে অগ্রসর হওয়া মানে বেশী সংখ্যক বলরেখা কুণ্ডলীকে অতিক্রম করা এবং দণ্ডচুম্বককে সরাইয়া লওয়ার অর্থ কম-সংখ্যক বলরেখা কুণ্ডলীকে অতিক্রম করা। ইহা হইতে বোঝা যায়, বলরেখা কুণ্ডলীকে অতিক্রম করিবার পরিবর্তনের উপর আবিষ্ট ফল (inductive effect) নির্ভর করে। ফ্যারাডে ইহা প্রমাণ করিয়াছেন, **যে-হারে কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখা পরিবর্তন করে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল তাহার সমানুপাতিক।** ইহাকে **ফ্যারাডের সূত্র** বলে।



চিত্র 7·8

(খ) প্রবাহ কর্তৃক আবিষ্ট প্রবাহ (Current induced by current) : আমরা জানি, কোন কুণ্ডলী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ গেলে কুণ্ডলী একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। সুতরাং কোন কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন হইলে উহার চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন হইবে এবং এই পরিবর্তন অন্য একটি নিকটবর্তী কুণ্ডলীতে আরোপিত হইলে ফ্যারাডের সূত্রানুযায়ী দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। এই ঘটনা 7·2 নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা দ্বারা দেখানো যাইতে পারে।

P একটি সলিনয়েড। ইহার সহিত একটি ব্যাটারী B এবং একটি রিওস্ট্যাট R ও একটি টেপা চাবি K যুক্ত আছে (ছবি দেখ)। S আর একটি সলিনয়েড—আকারে P হইতে বড়। ইহাতে অনেকগুলি তারের পাক আছে। ইহার সহিত একটি সুবেদী গ্যালভ্যানো-মিটার G যুক্ত আছে। P সলিনয়েডকে বলা হয় মুখ্য কুণ্ডলী (primary coil) এবং S সলিনয়েডকে বলা হয় গৌণ কুণ্ডী (secondary coil)। প্রথমে S গৌণ-কুণ্ডলীর বর্তনীতে একটি রিওস্ট্যাট ও কোষ যুক্ত করিয়া কুণ্ডলীতে প্রবাহের অভিমুখ নির্ণয় করিতে হইবে। মনে কর, প্রবাহ বামাবর্তে (anticlockwise) চলিতেছে। এখন, গ্যালভ্যানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপের অভিমুখ লক্ষ্য কর। নিম্নের পরীক্ষাগুলিতে এই অভিমুখে কাঁটা বিক্ষিপ্ত হইলে S-কুণ্ডলীতে প্রবাহ সমমুখী (direct) এবং বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হইলে প্রবাহ বিপরীতমুখী (inverse) ধরা হইবে; এখন S-কুণ্ডলীর বর্তনী হইতে তড়িৎ-কোষ ও রিওস্ট্যাট খুলিয়া লও এবং নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি কর।

(i) মুখ্যকুণ্ডলী P-তে তড়িৎ-কোষের সাহায্যে বামাবর্তী তড়িৎপ্রবাহ চালাইয়া দ্রুত উহাকে S-কুণ্ডলীর ভিতর প্রবেশ করাও। দেখিবে, গ্যালভ্যানোমিটারে ক্ষণিক বিক্ষেপ সৃষ্টি হইল। বিক্ষেপের অভিমুখ লক্ষ্য কর। এই অভিমুখ হইতে বোঝা যায়, গৌণকুণ্ডলী S-এ বিপরীতমুখী ক্ষণিক তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হইল। এখন মুখ্য কুণ্ডলীকে দ্রুত গৌণকুণ্ডলীর ভিতর হইতে বাহির করিয়া আনিলে ক্ষণস্থায়ী বিপরীত বিক্ষেপ দেখা যাইবে, অর্থাৎ এইবার ক্ষণস্থায়ী সমমুখী প্রবাহ আবিষ্ট হইল।

(ii) মুখ্য-কুণ্ডলীর চাবি K ছাড়িয়া দিয়া অর্থাৎ, ঐ কুণ্ডলীতে কোন প্রবাহ হইতে না দিয়া উহাকে গৌণ-কুণ্ডলীর মধ্যে বসাও। এইবার চাবি টিপিয়া মুখ্য-কুণ্ডলীতে প্রবাহ চালাও। গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ হইবে এবং দেখিবে, গৌণ-কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী বিপরীতমুখী তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হইল। যদি রিওস্টাটের সাহায্যে মুখ্য-কুণ্ডলীতে প্রবাহের মাত্রা বাড়ানো যায় তবে গৌণ-কুণ্ডলীতে একই ধরনের প্রবাহ আবিষ্ট হইবে।

(iii) এইবার মুখ্য-কুণ্ডলীর চাবি K ছাড়িয়া দিয়া প্রবাহ বন্ধ কর। সঙ্গে সঙ্গে গৌণ-কুণ্ডলীতে আবার ক্ষণস্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ যাইবে, কিন্তু এই প্রবাহ সমমুখী হইবে। একই ব্যাপার দেখা যাইবে যদি মুখ্য-কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা রিওস্ট্যাটের সাহায্যে দ্রুত কমানো যায়।

এই ঘটনাগুলি সহজে মনে রাখিবার জন্য উহাদের নিম্নরূপ তালিকাবদ্ধ করা যাইতে পারে।

কাহার দ্বারা আবেশ হইতেছে	পরীক্ষা	পর্যবেক্ষণ ও সিদ্ধান্ত
চুম্বক কর্তৃক	(i) N মেরু কুণ্ডলীর ভিতর দ্রুত ঢুকাইলে।	(i) ক্ষণিক বিপরীত বিক্ষেপ —অর্থাৎ, ক্ষণিক বিপরীত প্রবাহের আবেশ।
	(ii) N-মেরু দ্রুত বাহির করিয়া লইলে।	(ii) ক্ষণিক সমমুখী বিক্ষেপ —অর্থাৎ ক্ষণিক সমমুখী প্রবাহের আবেশ।

কাহার দ্বারা আবেশ হইতেছে	পরীক্ষা	পর্যবেক্ষণ ও সিদ্ধান্ত
চুম্বক কর্তৃক	(iii) চুম্বক কুণ্ডলীর ভিতর রাখিয়া দিলে।	(iii) কোন বিক্ষেপ নাই —অর্থাৎ, কোন প্রবাহ আবিষ্ট হয় না।
তড়িৎবাহী কুণ্ডলী কর্তৃক	(i) মুখ্য কুণ্ডলীকে দ্রুত গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে ঢুকাইলে।	(i) ক্ষণিক বিপরীতমুখী বিক্ষেপ—অর্থাৎ ক্ষণিক বিপরীতমুখী প্রবাহের আবেশ।
,,	(ii) মুখ্য কুণ্ডলীকে দ্রুত গৌণ কুণ্ডলীর ভিতর হইতে বাহির করিয়া লইলে।	(ii) ক্ষণিক সমমুখী বিক্ষেপ—অর্থাৎ, ক্ষণিক সমমুখী প্রবাহের আবেশ।
,,	(iii) মুখ্য কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলীর ভিতর রাখিয়া হঠাৎ প্রবাহ চালাইলে।	(iii) ক্ষণিক বিপরীতমুখী বিক্ষেপ অর্থাৎ, ক্ষণিক বিপরীতমুখী প্রবাহের আবেশ।
,,	(iv) ঐ অবস্থায় হঠাৎ প্রবাহ বন্ধ করিলে।	(iv) ক্ষণিক সমমুখী বিক্ষেপ অর্থাৎ, ক্ষণিক সমমুখী প্রবাহের আবেশ।
,,	(v) মুখ্য কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে রাখিয়া মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা হঠাৎ বৃদ্ধি করিলে।	(v) ক্ষণিক বিপরীতমুখী বিক্ষেপ—অর্থাৎ, বিপরীতমুখী প্রবাহের আবেশ।
,,	(vi) ঐ অবস্থায় হঠাৎ প্রবাহমাত্রা হ্রাস করিলে।	(vi) ক্ষণিক সমমুখী বিক্ষেপ—অর্থাৎ, সমমুখী প্রবাহের আবেশ।
,,	(vii) প্রবাহ-যুক্ত মুখ্য কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে রাখিয়া দিলে।	(vii) কোন বিক্ষেপ হয় না—অর্থাৎ, কোন প্রবাহের আবেশ হয় না।

7·3. তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলী (Laws of electromagnetic induction) : ফ্যারাডে ও লেঞ্জের সূত্রকে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের সূত্র বলা হয়। ফ্যারাডের সূত্রদ্বারা আবেশের কারণ ও আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ এবং লেঞ্জের সূত্রদ্বারা তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ পাওয়া যায়। এই সূত্রগুলিকে পুনরায় একস্থানে বলা হইল :

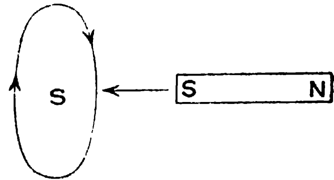
ফ্যারাডের সূত্র : কোন কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন হইলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয় এবং যে-হারে কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখা পরিবর্তন করে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল তাহার সমানুপাতিক হয়।

t অবকাশের পূর্বে এবং পরে কোন বদ্ধ বর্তনীতে জড়িত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা যথাক্রমে N_1 এবং N_2 হইলে এবং বলরেখার ঐ পরিবর্তনের দরুন বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল e হইলে, $e \propto \frac{N_2 - N_1}{t} \propto \frac{N}{t}$ [$N = t$ অবকাশে চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন।]

লেঞ্জের সূত্র : যে কোন তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এমন হইবে যে, যে-কারণে প্রবাহের সৃষ্টি হয়, প্রবাহ সর্বদা সেই কারণকে বাধা দিবে।

7·4. **লেঞ্জের সূত্র ও শক্তির সংরক্ষণ সূত্র** (Lenz's law and the law of conservation of energy) : 7·2 অনুচ্ছেদে লেঞ্জের সূত্র সম্বন্ধে বলা হইয়াছে, যে-কোন তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ এমন হইবে যে, যে-কারণে প্রবাহের সৃষ্টি হয়, প্রবাহ সর্বদা সেই কারণকে বাধা দিবে।

মনে কর, একটি দণ্ড-চুম্বকের S-মেরুকে একটি তারের কুণ্ডলীর দিকে লইয়া যাওয়া হইতেছে। তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের জন্য কুণ্ডলীতে একটি তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হইবে। এই তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ এমন হইবে যে, উহা S-মেরুর অগ্রগতিকে বাধা দিবে। ইহা সম্ভব যদি S মেরুর সম্মুখবর্তী কুণ্ডলীর তল (plane of the coil)-এ S-মেরুর উদ্ভব হয়, কারণ, সেক্ষেত্রে দুই সমমেরুর ভিতর বিকর্ষণের জন্য চুম্বকের অগ্রগতি বাধাপ্রাপ্ত হইবে। সলিনয়েডের নিয়ম হইতে আমরা জানি কুণ্ডলীর সম্মুখতলে S-মেরুর উৎপত্তি হইতে গেলে কুণ্ডলী দিয়া প্রবাহের অভিমুখ দক্ষিণাবর্তী হইতে হইবে (চিত্র নং 7·3)। অতএব এক্ষেত্রে আবিষ্ট প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী হইবে। আবার, দণ্ড-চুম্বকের S মেরুকে কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইয়া লইবার চেষ্টা করিলে পুনরায় কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হইবে। এই প্রবাহের অভিমুখ এমন হইবে যে দণ্ডচুম্বকের পশ্চাদ্‌গমন বাধা পাইবে। যদি প্রবাহের দরুন কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে N মেরুর উদ্ভব হয় তবে বিপরীত মেরুর আকর্ষণে দণ্ডচুম্বকের পশ্চাদ্‌গমন বাধা পাইবে। অতএব এক্ষেত্রে আবিষ্ট প্রবাহ বামাবর্তী হইবে।



চিত্র 7·3

এখন, দেখা যাইতেছে, তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের দ্বারা তড়িৎ-কোষ ছাড়াও কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। আপাতদৃষ্টিতে মনে হয় এই তড়িৎশক্তি সৃষ্টি করার জন্য অন্য কোন শক্তি ব্যয় করা হইতেছে না। কিন্তু শক্তির সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী ইহা সম্ভব নয়। মনে হইতে পারে যে এক্ষেত্রে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র লঙ্ঘন করা হইল। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তাহা ঠিক নয়। উপরোক্ত পরীক্ষায় লক্ষ্য করিবার আছে যে, দণ্ড-চুম্বকের গতি বজায় রাখিবার জন্য সর্বদা কিছু যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করিতে হয়; কারণ, দণ্ড চুম্বককে কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসর করাইবার সময় দুই সম-মেরুর ভিতর বিকর্ষণজনিত বাধার বিরুদ্ধে সরাইতে হইবে এবং কুণ্ডলী হইতে দূরে লইয়া যাইবার সময় দুই বিষমমেরুর আকর্ষণজনিত বলের বিরুদ্ধে সরাইয়া লইতে হইবে। এই যান্ত্রিক শক্তিই তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করে। সুতরাং তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র লঙ্ঘিত হয় না। তাহাড়া, নিম্নলিখিত উপায়ে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতে আমরা লেঞ্জের সূত্র প্রতিষ্ঠা করিতে পারি :

ধর, উপরোক্ত পরীক্ষায় দণ্ড-চুম্বকের S-মেরুকে কুণ্ডলীর দিকে একটু চালনা করায় কুণ্ডলীতে

যে তড়িৎ-প্রবাহ হইল তাহা S-মেরুর অগ্রগমনে বাধা না জন্মাইয়া বরং সাহায্য করিল। অর্থাৎ, প্রবাহের অভিমুখ এমন হইল যে কুণ্ডলীর সম্মুখতলে N-মেরুর উৎপত্তি হইল। এ অবস্থায় দুই বিষম মেরুর আকর্ষণে দণ্ড-চুম্বক আপনা হইতেই কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসর হইতে থাকিবে এবং ইহার জন্য কোন শক্তির প্রয়োগ প্রয়োজন হইবে না। তাহা হইলে এই ব্যবস্থার দ্বারা আমরা কোন শক্তি ব্যয় না করিয়া অনন্ত গতি (perpetual motion) সৃষ্টি করিতে পারি। কিন্তু শক্তির সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী ইহা কোনমতেই সম্ভব নয়। সুতরাং কুণ্ডলীর প্রবাহ এমন হইতে পারে না যাহাতে কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে N-মেরুর উৎপত্তি হয়—অর্থাৎ, কুণ্ডলীর প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী হইয়া S-মেরুর উদ্ভব করিবে এবং দণ্ড-চুম্বকের অগ্রগতিকে বাধা দিবে।

অনুরূপভাবে, দণ্ড-চুম্বককে কুণ্ডলী হইতে একটু দূরে সরাইয়া দিলে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের জন্য কুণ্ডলীতে প্রবাহের অভিমুখ এমন হইতে পারে না যাহা দণ্ড-চুম্বকের গতিকে সাহায্য করে, কারণ, সেক্ষেত্রে দণ্ড-চুম্বক আপনা হইতেই ক্রমবর্ধমান বেগে দূরে সরিয়া যাইতে থাকিবে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে কুণ্ডলীতে প্রবাহ বামাবর্তী হইয়া কুণ্ডলীর সম্মুখতলে S-মেরুর পরিবর্তে N-মেরু গঠন করিবে এবং উহা দণ্ড-চুম্বকের গতিকে বাধা দিবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে, শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতে আমরা লেঞ্জের সূত্রে পৌঁছাইতে পারি।

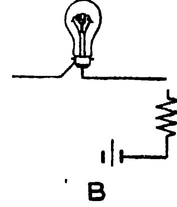
7·5. **স্বাবেশ (Self-induction)** : যখন কোন তার-কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ যায়, তখন কুণ্ডলী একটি চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং ঐ চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখা কুণ্ডলীর সহিত জড়িত হইয়া পড়ে। সুতরাং বলা যায় ঐ কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ সুরু হইবার কালে, কুণ্ডলী সহসা নিজস্ব চৌম্বক বলরেখার সহিত জড়িত হয়। ফলে, কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী বিপরীত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইয়া প্রবাহমাত্রার বৃদ্ধিতে বাধা জন্মায়। আবার, কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা বন্ধ করিলে, কুণ্ডলীর সহিত জড়িত নিজস্ব বলরেখাগুলি সহসা অপসারিত হয়—অথবা কুণ্ডলীর সহিত জড়িত বলরেখার পুনরায় পরিবর্তন ঘটে। তখন আবার, কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী সমমুখী তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইয়া প্রবাহমাত্রার অবলুপ্তিকে বিলম্বিত করে।

অনুরূপভাবে, কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা চালু থাকাকালীন যদি কখনও প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন করা হয় (হ্রাস বা বৃদ্ধি) তাহাতেও কুণ্ডলীর সহিত জড়িত নিজস্ব চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তি হইয়া প্রবাহমাত্রার উক্ত পরিবর্তনকে বাধা দেয়।

তড়িৎ-বর্তনীর যে-ধর্মের ফলে ঐ বর্তনী প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরুদ্ধে বাধা সৃষ্টি করে তাহাকে **স্বাবেশ ধর্ম** (self inductance) বলে এবং উপরোক্ত ঘটনাকে বলা হয় **স্বাবেশ (self-induction)**।

বর্তনীর স্বাবেশ প্রদর্শনের পরীক্ষা (Experiment to demonstrate self-induction of a circuit) : মোটা তামার তার বেশ কয়েকপাক জড়াইয়া একটি সলিনয়েড (L) তৈরী কর। উহার সহিত শ্রেণী সমবায়ে একটি 12 ভোল্টের ব্যাটারী B, একটি সুইচ (S) যুক্ত কর। কুণ্ডলীর সমান্তরালে 12 ভোল্টের উপযোগী একটি বৈদ্যুতিক

বাতি সংযুক্ত কর (চিত্র নং 7·4)। এখন সুইচ বন্ধ করিলে, দেখা যাইবে যে বাতি মুহূর্তের জন্য উজ্জ্বল হইয়া জ্বলিয়া উঠিল এবং পরমুহূর্তেই ক্ষীণ হইয়া জ্বলিতে লাগিল। আবার, সুইচ খুলিয়া দিলে, বাতি পুনরায় মুহূর্তের জন্য উজ্জ্বল হইয়া উঠিবে এবং পরমুহূর্তেই নিভিয়া যাইবে।



চিত্র 7·4

যখন সুইচ বন্ধ করা হয় তখন কুণ্ডলীতে উৎপন্ন বিপরীত তড়িচ্চালক বল কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি করিবার বিরুদ্ধে বাধা জন্মায় এবং কুণ্ডলী তখন একটি উচ্চ রোধকের ন্যায় ব্যবহার করে। ফলে, সমগ্র তড়িৎপ্রবাহই বাতির ভিতর দিয়া যায় এবং বাতি মুহূর্তের জন্য উজ্জ্বল হইয়া উঠে। যখন বর্তনীর প্রবাহমাত্রা স্থির হয় তখন কুণ্ডলীতে আর বিপরীত তড়িচ্চালক বল ক্রিয়া করে না, তখন প্রবাহের কিছু অংশ কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া এবং বাকী অংশ বাতির ভিতর দিয়া প্রবাহিত হয়। তাই বাতি কিছু ক্ষীণ হইয়া জ্বলিতে থাকে। সুইচ খুলিয়া দিলে, কুণ্ডলীর সহিত জড়িত বলরেখা সহসা অপসারিত হয়। ইহাতে কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া একটি তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয় এবং এই তড়িৎপ্রবাহ বাতির ভিতর গিয়া বাতিকে মুহূর্তের জন্য উজ্জ্বল করিয়া তোলে।

7·6 **স্বাবেশ গুণাঙ্ক এবং উহার একক** (Co-efficient of self-induction and its units) ঃ ধর, কোন এক সময় একটি কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা i এবং উহার সহিত সংশ্লিষ্ট স্বকীয় চৌম্বক বলরেখার মোট সংখ্যা$=N$.

এক্ষেত্রে, $N \propto i$ অথবা $N=L.\ i$

অতএব, চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের হার$=L\times$প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের হার।

উপরোক্ত সমীকরণে L একটি ধ্রুবরাশি এবং ইহাকেই বলা হয় বর্তনীর স্বাবেশ গুণাঙ্ক। ইহার সংজ্ঞা নিম্নরূপ ঃ

কোন কুণ্ডলীতে একক হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হইলে, কুণ্ডলীতে যে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে তাহাকে সংখ্যাগতভাবে (numerically) ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশ গুণাঙ্ক বলে।

একক ঃ (Units) :

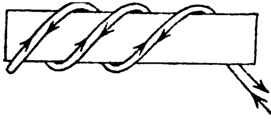
(ক) **পরম একক ঃ** (Absolute unit) ঃ কোন বর্তনীতে 1 *e.m.u/sec.* হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হইলে যদি 1 *e.m.u.* তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, তবে ঐ বর্তনীর স্বাবেশ গুণাঙ্ক 1. *e.m.u.*

(খ) **ব্যবহারিক একক ঃ** (Practical unit) ঃ কোন বর্তনীতে প্রতি সেকেণ্ডে 1 amp. হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হইলে যদি 1 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, তবে ঐ বর্তনীর স্বাবেশ গুণাঙ্ক 1 henry এবং ইহাই স্বাবেশ গুণাঙ্কের ব্যবহারিক একক।

7·7 **আবেশহীন কুণ্ডলী** (Non-inductive coils) ঃ কোন কুণ্ডলীর স্বাবেশ উহার প্রস্থচ্ছেদ, আকার, পাকসংখ্যা এবং কুণ্ডলী জড়াইবার প্রণালীর (manner of winding),

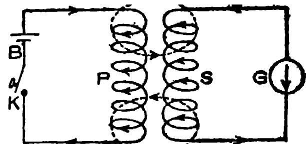
উপর নির্ভর করে। ঋজু অথবা বাঁকানো—যে কোন ধরনের পরিবাহী হউক না কেন—উহার কিছু না কিছু স্বাবেশ থাকিবে ; তবে সলিনয়েড কুণ্ডলীর তুলনায় ঋজু পরিবাহীর স্বাবেশ অনেক কম। এখন, রোধবাক্স, রোধকুণ্ডলী, পোস্ট অফিস বক্স প্রভৃতি নির্মাণে তার কুণ্ডলী ব্যবহার করা হয়। স্বাভাবিকভাবেই ঐ সকল কুণ্ডলীর যথেষ্ট স্বাবেশ থাকিবে। কিন্তু বিভিন্ন পরীক্ষায় এই স্বাবেশ নানাকারণে বাঞ্ছনীয় নয়। তাই, এই সকল যন্ত্রপাতিতে তার কুণ্ডলীর স্বাবেশ-প্রভাব নিম্নতম করিবার জন্য কুণ্ডলী জড়াইবার এক বিশেষ পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। এই পদ্ধতিকে বলা হয় **আবেশহীন বেষ্টন** (non-inductive winding)।

যে-তারের কুণ্ডলী করিতে হইবে প্রথমে তাহাকে দুভাঁজ করা হয় এবং তারপর ঐ তারকে কাটিমের (bobin) উপর জড়ানো হয় (চিত্র নং 7.5)। ইহাতে কুণ্ডলীর এক অর্ধের তড়িৎ প্রবাহ অপর অর্ধের পাশাপাশি প্রবাহিত হয় কিন্তু এই দুই প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত। এইরূপ পাশাপাশি বিপরীত তড়িৎ প্রবাহযুক্ত দুইটি তারের মোট স্বাবেশ হিসাব করিলে দেখা যায় যে উহা শূন্য। ফলে, সমগ্র কুণ্ডলীর কোন স্বাবেশ থাকে না।



চিত্র 7·5

7·8 **পারস্পরিক আবেশ** (Mutual induction) : P এবং S কয়েকপাকের দুইটি তার কুণ্ডলী পরস্পরের কাছাকাছি রাখা আছে। P কুণ্ডলীর সহিত শ্রেণী সমবায়ে একটি ব্যাটারী B এবং চাবি K যুক্ত। S কুণ্ডলীর সহিত একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার G যুক্ত (চিত্র নং 7·6)। K চাবি টিপিয়া P কুণ্ডলীতে প্রবাহ চালু করিলে দেখা যাইবে যে S কুণ্ডলীর গ্যালভ্যানোমিটারে একটি ক্ষণিক বিক্ষেপ হইল। P কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা স্থির মানে পৌঁছাইলে গ্যালভ্যানোমিটারের কাঁটা উহার প্রাথমিক অবস্থানে ফিরিয়া আসে। ইহার কারণ নিম্নরূপ :



চিত্র 7·6

যখন P কুণ্ডলীতে প্রবাহ চালু করা হইল, ঐ কুণ্ডলী হইতে তখন বলরেখা উৎপন্ন হইয়া S কুণ্ডলীর সহিত জড়িত হইয়া পড়ে (চিত্রে কাটা লাইন দিয়া দেখানো হইয়াছে)। S কুণ্ডলীরস হিত চৌম্বক-প্রবাহের (magnetic flux) সংযুতির ফলে, তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের নিয়মানুযায়ী ঐ কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। ইহা লক্ষ্য করিবার বিষয় যে, S কুণ্ডলীতে আবিষ্ট ক্ষণিক তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ P কুণ্ডলীর প্রবাহের অভিমুখের বিপরীত। এইবার, অকস্মাৎ K চাবি ছাড়িয়া P কুণ্ডলীর প্রবাহ বন্ধ করিলে, পুনরায় গ্যালভ্যানোমিটারে একটি ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যাইবে কিন্তু প্রথম বিক্ষেপের সাপেক্ষে ইহা বিপরীতমুখী হইবে। ইহার কারণ এই যে প্রবাহ বন্ধ করিয়া দিলে S কুণ্ডলীর সহিত জড়িত বলরেখাগুলি সহসা অপসারিত হয় এবং তাহাতে S কুণ্ডলীতে পুনরায় একটি তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয় কিন্তু এই তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ হইবে প্রথম বারের সাপেক্ষে বিপরীত।

শুধু প্রবাহ চালু বা বন্ধ করা নয়, যখনই P কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার কোন পরিবর্তন হইবে (বৃদ্ধি

বা হ্রাস) তখনই S কুণ্ডলীর গ্যালভ্যানোমিটারে ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ দেখা যাইবে। একই ফলাফল পাওয়া যাইবে যদি P কুণ্ডলীর সহিত গ্যালভ্যানোমিটার যুক্ত করিয়া S কুণ্ডলীতে ব্যাটারী এবং চাবি যুক্ত করা হয়। অর্থাৎ এই ঘটনা প্রকৃতই পারস্পরিক।

একটি কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন করিয়া নিকটবর্তী অপর একটি কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করার উপরোক্ত ঘটনাকে **পারস্পরিক আবেশ** (mutual induction) বলা হয়।

7·9 **পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক এবং উহার একক** (Co-efficient of mutual induction and its units): একথা সহজেই বোঝা যায় যে S-কুণ্ডলীর সহিত জড়িত চৌম্বকপ্রবাহ P কুণ্ডলীর (চিত্র নং 7·6) তড়িৎ প্রবাহমাত্রার উপর নির্ভর করে। P কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহমাত্রা যখন i তখন S-কুণ্ডলীর সহিত জড়িত চৌম্বক বলরেখার মোটসংখ্যা অর্থাৎ চৌম্বকপ্রবাহ N হইলে $N \propto i$ অথবা $N=M.i.$ এক্ষেত্রে M একটি ধ্রুবরাশি এবং ইহাকেই বলা হয় কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক।

এখন, উপরোক্ত সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

S কুণ্ডলীতে চৌম্বকপ্রবাহের পরিবর্তনের হার $=M\times P$-কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের হার অথবা, S কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $=M\times P$-কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা পরিবর্তনের হার। ইহা হইতে আমরা পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একটি সংজ্ঞা পাই। সংজ্ঞাটি নিম্নরূপ:

একটি কুণ্ডলীতে একক হারে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রার পরিবর্তন হইলে অপর কুণ্ডলীতে যে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হইবে সংখ্যাগতভাবে (numerically) তাহাই হইবে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক।

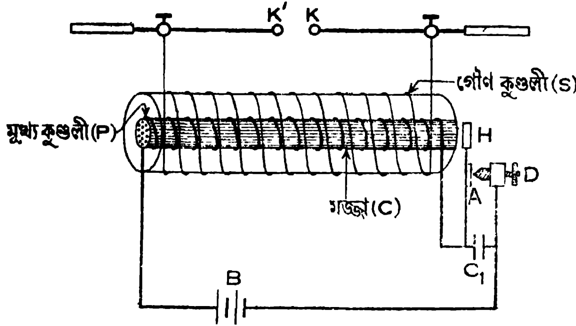
একক: (Units)

(ক) **পরম একক** (Absolute unit): একটি কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেণ্ডে 1 *e.m.u.* হারে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হইলে অপর কুণ্ডলীতে যদি 1 *e.m.u.* তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, তবে উহাদের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 1 *e.m.u.*

(খ) **ব্যবহারিক একক** (Practical unit): একটি কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেণ্ডে 1 amp. হারে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হইলে অপর কুণ্ডলীতে যদি 1 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, তবে উহাদের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 1 henry এবং ইহাই পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের ব্যবহারিক একক।

7·10 **রুমকর্ফের আবেশ কুণ্ডলী** (Ruhmkorff's induction coil): এই কুণ্ডলীর কার্যনীতি তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ এবং পারস্পরিক আবেশের উপর প্রতিষ্ঠিত এবং ইহার সাহায্যে আমরা নিম্নমানের বিভব-প্রভেদ হইতে উচ্চ মানের বিভব-প্রভেদ সৃষ্টি করিতে পারি। এই যন্ত্রের প্রয়োজনীয় অংশগুলি 7·7 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

(i) **মজ্জা** (Core) ঃ কোন অন্তরক পদার্থের (সাধারণত ভালকেনাইট) ফাঁপা নলের ভিতর একগুচ্ছ নরম লোহার তার রাখা হয়। তারগুলি পরস্পর হইতে অন্তরিত থাকে। ইহাকে মজ্জা বলে (C)।



চিত্র 7·7

(ii) **মুখ্য কুণ্ডলী** (Primary coil) ঃ মজ্জার উপর অন্তরিত মোটা তামার তার সমভাবে কয়েক পাকে জড়াইয়া মুখ্য কুণ্ডলী (P) তৈয়ারী করা হয়। এই কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে একটি ব্যাটারী (B) যুক্ত করিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হয়।

(iii) **গৌণ কুণ্ডলী** (Secondary coil) ঃ মুখ্য কুণ্ডলীকে আবৃত করিয়া উত্তম অন্তরক পদার্থে নির্মিত অপর একটি ফাঁপা নলের উপর অন্তরিত সরু তামার তারের কয়েক সহস্র পাক জড়াইয়া গৌণ কুণ্ডলী (S) নির্মাণ করা হয়। প্রকৃতপক্ষে পাকগুলি কয়েকস্তরে জড়ানো থাকে এবং স্তরগুলি পরস্পর হইতে ভালভাবে অন্তরিত রাখা হয়। খুব শক্তিশালী আবেশ কুণ্ডলীতে গৌণ কুণ্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য কয়েক মাইল পর্যন্ত হয়। পাকের সংখ্যা খুব বেশী হওয়ায় গৌণকুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বকপ্রবাহের পরিবর্তনে খুব উচ্চ মাত্রার তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। তার খুব সরু ও দীর্ঘ হওয়ায় ইহার রোধ খুব উচ্চ হয়। ফলে, গৌণকুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহমাত্রা খুব অল্প থাকে এবং তজ্জনিত তাপসৃষ্টিও কম হয়। এই কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয় দুইটি মোক্ষণ বর্তুল (discharging knobs) K—K'-এর সহিত যুক্ত। বর্তুল দুইটির ভিতরকার দূরত্ব বাড়ানো-কমানো যায়।

(iv) **স্পর্শ ছেদক** (Contact breaker) ঃ ইহা একটি স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থা যাহা দ্বারা মুখ্যকুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা দ্রুত চালু করা বা বন্ধ করা যায়। D স্ক্রু-টি A আর্মেচারকে স্পর্শ করিলে মুখ্যকুণ্ডলী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ যাইবে। তখন মজ্জার নরম লোহার তারগুলি চৌম্বকধর্ম লাভ করিবে এবং নরম লোহার হাতুড়ী H-কে নিজের দিকে আকর্ষণ করিবে। ইহাতে D-স্ক্রু এবং A-আর্মেচারের ভিতর স্পর্শচ্ছেদ হইবে এবং মুখ্যকুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রাও বন্ধ হইবে। সঙ্গে সঙ্গে মজ্জার নরম লোহার তারগুলির চৌম্বকধর্ম লোপ পাইবে এবং হাতুড়ীর উপর কোন আকর্ষণ বল প্রয়োগ করিবে না। হাতুড়ী তখন ফিরিয়া গিয়া A-আর্মেচারকে D-স্ক্রুর সহিত যুক্ত করিবে।

তখন আবার মুখ্যকুণ্ডলী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ যাইবে। এইরূপ বার বার মুখ্যকুণ্ডলীর বর্তনী সংহত ও ছিন্ন হইবে।

কার্যপ্রণালী (Action) : D-স্ক্রু ঘুরাইয়া উহাকে A-আর্মেচারের সহিত স্পর্শ করাইলে মুখ্যকুণ্ডলী দিয়া তড়িৎপ্রবাহ যাইবে এবং উহার দরুন চৌম্বক বলরেখা গৌণকুণ্ডলীকে ছেদ করিবে। তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের নিয়মানুযায়ী ইহাতে গৌণকুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। আবার, যেই মুহূর্তে হাতুড়ি-H চৌম্বক আকর্ষণের জন্য মজ্জার দিকে সরিয়া যাইবে সেই মুহূর্তে মুখ্যকুণ্ডলীর সহিত ব্যাটারীর সংযোগ ছিন্ন হইবে এবং মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহ লুপ্ত হইবে। ইহাতে গৌণকুণ্ডলীর সহিত জড়িত চৌম্বকবলরেখা সম্পূর্ণ অপসারিত হইয়া গৌণকুণ্ডলীতে পুনরায় একটি বিপরীতমুখী তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট করিবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে 'গঠন ও লুপ্তি' (make and break) সমন্বিত একটি পূর্ণ চক্রে গৌণ-কুণ্ডলীতে দুইটি বিপরীতমুখী তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হইতেছে।

যেহেতু মুখ্যকুণ্ডলীর প্রবাহলুপ্তি খুব অল্প সময়ের মধ্যে ঘটিয়া যায় সেইহেতু লুপ্তির সময় গৌণকুণ্ডলীতে উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল প্রবাহ-বৃদ্ধির সময়কার তড়িচ্চালক বল অপেক্ষা অনেক বেশী হয় এবং গৌণকুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা খুব বেশী থাকায় অল্প সময়ের মধ্যেই গৌণকুণ্ডলী তথা মোক্ষণ বর্তুলদ্বয়ের ভিতর প্রবল তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হইয়া স্পার্কের (spark) উৎপত্তি করে।

ধারকের ক্রিয়া (Function of the condenser) : মুখ্যকুণ্ডলীর স্বাবেশের জন্য যখনই আর্মেচার A-র সহিত স্ক্রু D-এর স্পর্শচ্ছেদ হয় তখনই মুখ্যকুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তি হইয়া আর্মেচার ও স্ক্রু-র মধ্যে স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করে এবং স্ক্রু-র তীক্ষ্ণাগ্র প্রান্তকে ক্রমশ ক্ষতিগ্রস্ত করে। স্পর্শচ্ছেদকের সমান্তরালে ধারক ব্যবহার করিলে, ঐ তড়িচ্চালক বল ধারক-কে চার্জ করে। ফলে স্পর্শচ্ছেদকের মধ্যে স্পার্ক হইতে পারে না। তাছাড়া ধারক ব্যবহারের আর একটি সুবিধা এই যে প্রবাহলুপ্তির সময় গৌণকুণ্ডলী হইতে চৌম্বক বলরেখার অপসারণকে ধারক দ্রুততর করে। ইহাতে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ প্রায় দ্বিগুণ হয়।

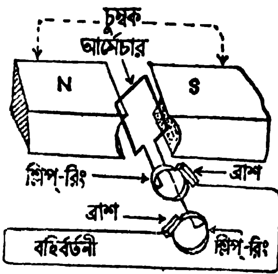
আবেশ কুণ্ডলীর ব্যবহার (Use of induction coil) : ঊনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগে উচ্চ ভোল্টেজ পর্যালোচনা এবং গ্যাসে তড়িৎমোক্ষণ বিষয়ে গবেষণার জন্য আবেশ কুণ্ডলী ব্যবহৃত হইত। এই শতাব্দীর প্রথমভাগে মর্স বেতার প্রেরক যন্ত্রে এবং এক্সরশ্মি নল কার্যকর করিতে আবেশ কুণ্ডলীর প্রচলন ছিল। বর্তমানে গবেষণাগারে গ্যাসের বর্ণালী পর্যালোচনা করিবার জন্য গ্যাসমোক্ষণ নলকে উদ্দীপিত করিতে আবেশ কুণ্ডলী প্রায়ই ব্যবহার করা হয়। তাছাড়া, মোটর গাড়ীর স্পার্ক-কুণ্ডলীর নীতি আবেশ কুণ্ডলীর নীতির উপর প্রতিষ্ঠিত।

7·11 ডায়নামো (Dynamo) : আধুনিক সভ্যজগৎ তড়িৎ-শক্তির উপর নির্ভর-শীল এবং বিস্তৃত ক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহ করিতে হইলে ডায়নামো একান্ত অপরিহার্য বিদ্যুৎ-যন্ত্র। ডায়নামো দুই প্রকারের হইতে পারে : (1) **অলটারনেটার** (Alternator বা A.C.) **ডায়নামো** যাহা কোন বর্তনীতে পরিবর্তী (alternating) তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করে ও

(2) **সমপ্রবাহ** (Direct current বা D.C.) **ডায়নামো** যাহা কোন বর্তনীতে সমতড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন করে।

এই দুই যন্ত্রের মূলনীতি তড়িৎচুম্বকীয় আবেশের উপর প্রতিষ্ঠিত। একটি বদ্ধ কুণ্ডলীকে (closed coil) যদি কোন চৌম্বকক্ষেত্রের ভিতর অবিরত ঘুরানো যায় তবে ঐ ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলীর সহিত জড়িত বলরেখার সংখ্যা সর্বদা পরিবর্তিত হইবে। সুতরাং তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ অনুযায়ী উক্ত কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। যদি ঐ কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত একটি বহির্বর্তনীর (external circuit) সহিত যুক্ত থাকে তবে ঐ বর্তনীতে পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের উৎপত্তি হয়। এই পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহকে সমপ্রবাহে পরিণত করিতে হইলে **কমুটেটার** (commutator) নামক একটি ব্যবস্থার সাহায্য লইতে হয়। উপরোক্ত দুই রকম ডায়নামোর সংক্ষিপ্ত বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল ঃ

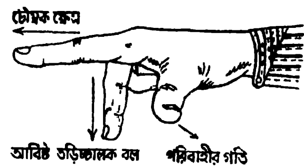
(1) A.C. **ডায়নামো** ঃ 7·8 নং চিত্রে ইহার গঠনপ্রণালীর নক্শা বঝানো হইয়াছে। একটি নরম লোহার চোঙের উপর কয়েক পাক তামার তার জড়াইয়া **আর্মেচার** (armature) তৈয়ারী করা হয়। এই আর্মেচার একটি শক্তিশালী চুম্বকের মধ্যবর্তী স্থানে ঘুরিতে পারে। ইহাকে ঘুরাইবার জন্য তৈল অথবা বাষ্পীয় এঞ্জিন ব্যবহার করা হয়। প্রবহমান জলের শক্তির দ্বারা আর্মেচার ঘুরাইয়া বিদ্যুৎ উৎপাদন করিলে উহাকে জলবিদ্যুৎ (hydro-electricity) বলা হয়। আর্মেচার কুণ্ডলীর শেষ দুই প্রান্ত দুইটি ধাতু-নির্মিত **আংটার** (slip-rings) সহিত যুক্ত। এই আংটা দুইটি আর্মেচারের সহিত ঘুরিতে পারে। কার্বন নির্মিত দুইটি **ব্রাশ** (brush) এমনভাবে রাখা হয় যে, যখন আর্মেচার ঘুরিতে থাকে তখন তাহারা সর্বদা আংটার সহিত আলগাভাবে ঠেকিয়া থাকে। এই ব্রাশ দুইটির সহিত বহির্বর্তনী যুক্ত থাকে এবং বহির্বর্তনীতে পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়।



চিত্র 7·8

যখন আর্মেচারকে ঘুরানো হয় তখন আর্মেচার-কুণ্ডলী চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাগুলিকে ছেদ করে এবং তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের নিয়মানুযায়ী কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। এই আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ কোন দিকে তাহা **ফ্লেমিং-এর ডান হাত নিয়ম** (Fleming's right hand rule) বা **ডায়নামো নিয়ম** (Dynamo rule) দ্বারা নির্ণয় করা যায়। নিয়মটি নিম্নরূপ ঃ

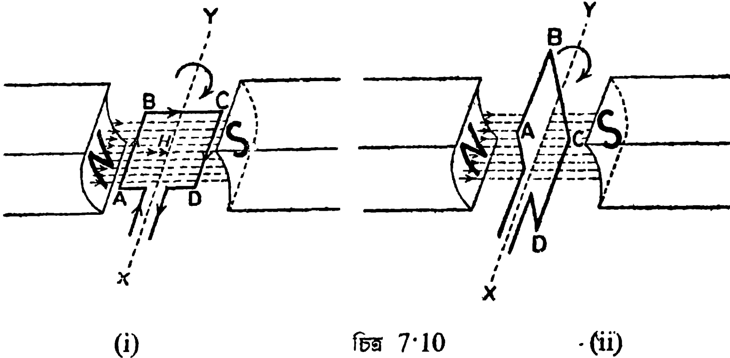
ডানহাতের প্রথম তিনটি আঙুল পরস্পরের সহিত সমকোণে রাখিয়া প্রসারিত কর (7·9 নং চিত্র)। যদি তর্জনী (fore-finger) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখী হয় এবং বৃদ্ধাঙ্গুলী (thumb)



চিত্র 7·9

পরিবাহীর গতির অভিমুখী হয়, তবে মধ্যমা (middle finger) আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ নির্দেশ করিবে। এই নিয়ম মনে রাখিলে ডায়নামোর কার্যপ্রণালী বুঝিতে পারিবে।

মনে কর, ABCD আর্মেচার-কুণ্ডলী N-S চুম্বক মেরুদ্বয়ের মধ্যে XY অনুভূমিক রেখাকে অক্ষ করিয়া অবিরত ঘুরিতেছে। উহার ঘুরিবার অভিমুখ তীরচিহ্ন দিয়া দেখানো হইয়াছে। কোন এক সময় ধরা যাউক কুণ্ডলী অনুভূমিক অবস্থায় আসিল [7·10(i) নং চিত্র]। এখন AB বাহু উপরের দিকে আসিবে এবং CD বাহু নীচের দিকে যাইবে। যদি উভয় বাহুতে ফ্লেমিং-এর ডান হাত নিয়ম প্রয়োগ করা যায়, তবে দেখা যাইবে, AB বাহুতে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ A হইতে B-এর দিকে অভিমুখী এবং CD বাহুতে C হইতে D-এর দিকে অভিমুখী। সুতরাং সমস্ত কুণ্ডলীর কথা বিবেচনা করিলে প্রবাহ ABCD অভিমুখে চলিবে। এই ধরনের প্রবাহ চলিবে যতক্ষণ না কুণ্ডলী উল্লম্ব

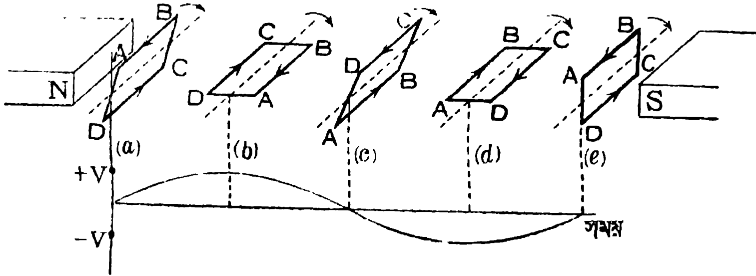


(i) চিত্র 7·10 (ii)

(vertical) অবস্থায় আসে [7·10(ii) নং চিত্র]। এই সময় AB এবং CD বাহুদ্বয় ক্ষণিকের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালভাবে চলে বলিয়া মুহূর্তের জন্য কুণ্ডলীতে কোন প্রবাহ থাকে না। অতঃপর AB বাহু নীচের দিকে এবং CD বাহু উপরের দিকে যাইতে শুরু করিবে। পুনরায় ফ্লেমিং-এর নিয়ম প্রয়োগ করিলে দেখা যাইবে যে এইবার কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া গিয়াছে এবং এই উল্টা প্রবাহ চলিবে যতক্ষণ না কুণ্ডলী পুনরায় উল্লম্ব অবস্থায় আসিবে। মনে রাখিবার সুবিধার জন্য বলা যাইতে পারে, (i) কুণ্ডলী উল্লম্ব অবস্থা পার হইলে প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া যায় এবং (ii) অনুভূমিক অবস্থায় আসিলে প্রবাহের মাত্রা সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। সুতরাং একবার পূর্ণ আবর্তনের অর্ধেক সময় কুণ্ডলীতে প্রবাহ যে-দিকে চলে বাকী অর্ধেক সময়ে প্রবাহ উল্টা দিকে চলে। তাহার ফলে বহির্বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তী হয়।

7·12 **পরিবর্তী প্রবাহ** (Alternating current) ঃ 7·11 নং চিত্রে এ, সি, ডায়নামোর আর্মেচার কুণ্ডলীর বিভিন্ন অবস্থা দেখানো হইয়াছে। যখন ABCD কুণ্ডলীর তল উল্লম্ব [চিত্র (a)] তখন উহাতে কোন তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় না। কুণ্ডলী যতই তীর চিহ্নের দিকে ঘুরিয়া (b) অবস্থানে আসিতে থাকে তত উহা বেশী পরিমাণে চৌম্বক বলরেখা ছেদ করে এবং কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণও তত বাড়িতে থাকে। সম্পূর্ণ 90° ঘুরিয়া যখন

ABCD কুণ্ডলীর তল অনুভূমিক হয় [চিত্র (b)] তখন আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মানও সর্বাধিক হয়। আরও ঘুরিয়া ABCD কুণ্ডলী (c) অবস্থানের দিকে যাইতে আরম্ভ করিলে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা কমিতে থাকে,; ফলে কুণ্ডলীর আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলও হ্রাস



চিত্র 7·11

পাইতে থাকে। কুণ্ডলী (c) অবস্থানে পৌঁছাইলে অর্থাৎ কুণ্ডলীর তল পুনরায় উল্লম্ব হইলে, তড়িচ্চালক বলের মান শূন্য হয়। সুতরাং দেখা গেল যে আর্মেচার কুণ্ডলীর আবর্তনের এক অর্ধে, তড়িচ্চালক বল শূন্য মান হইতে বৃদ্ধি পাইয়া সর্বোচ্চ হয় এবং পরে আবার ধীরে ধীরে কমিয়া শূন্য হয়।

আবর্তনের অপরার্ধে কুণ্ডলী যখন (d) অবস্থানের দিকে যাইতে থাকে তখন উহার তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ উল্টাইয়া যায়। 7·11 নং চিত্র লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে (b) অবস্থানে AB বাহুতে তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ এবং (d) অবস্থানে ঐ বাহুতে তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ পরস্পরের বিপরীত। বলা বাহুল্য, এই সকল অভিমুখ ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ-হস্ত নিয়ম প্রয়োগ করিলে পাওয়া যাইবে। ABCD কুণ্ডলী যখন আবর্তনের দ্বিতীয়ার্ধে (d) অবস্থানে আসে, তখন উহা পুনরায় সর্বাধিক চৌম্বক বলরেখাকে ছেদ করে এবং বিপরীতমুখী তড়িচ্চালক বলের মান সর্বোচ্চ হয়। ইহার পর কুণ্ডলী যত (e) অবস্থানের দিকে যাইতে থাকে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান তত কমিতে থাকে। কুণ্ডলী যতক্ষণ চৌম্বকক্ষেত্রে আবর্তন করিবে, তড়িচ্চালক বলের এই পরিবর্তন-চক্র (cycle of changes) বারবার সম্পাদিত হইবে।

7·11 নং চিত্রের তলায় তড়িচ্চালক বলের এই পরিবর্তন লেখ-র সাহায্যে দেখানো হইয়াছে। লেখ হইতে বোঝা যায় যে তড়িচ্চালক বল **পরিবর্তী** (alternating) অর্থাৎ তড়িচ্চালক বল পরিবর্তনশীল এবং পর্যায়ক্রমে বিপরীতমুখী। ডায়নামোর সহিত যুক্ত কোন বহির্বর্তনী থাকিলে, এই পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল ঐ বর্তনীতে **পরিবর্তী প্রবাহের** (alternating current) উৎপত্তি করিবে।

ঐরূপ পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যাইতে পারে :

$$E=E_0 \sin \frac{2\pi t.}{T}$$

এক্ষেত্রে E=যে কোন মুহূর্তে (অর্থাৎ t মুহূর্তে) বর্তনীর তড়িচ্চালক বল ; E_0=বর্তনীর সর্বোচ্চ

তড়িচ্চালক বল (ইহাকে অনেক সময় তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান বলা হয়) এবং T=পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের পর্যায় কাল।

যখন $t=0$, $T/2$ অথবা T (অর্থাৎ 7·11 নং চিত্রের a, c, এবং e অবস্থান),

$$\sin\frac{2\pi}{T}\ t=0 \text{ অথবা, } E=0$$

যখন $t=T/4$ (অর্থাৎ 7·11নং চিত্রের b অবস্থান) তখন $\sin\frac{2\pi}{T}\ t=+1$ এবং $E=+E_0$

যখন $t=3T/4$ (অর্থাৎ 7·11 নং চিত্রের d অবস্থানে) তখন $\sin\frac{2\pi}{T}t=-1$ এবং $E=-E_0$

উপরোক্ত পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল কোন বর্তনীতে প্রযুক্ত হইলে, বর্তনী দিয়া একটি পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে এবং ঐ তড়িৎপ্রবাহকেও সাইন-সদৃশ (sinusoidal) সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। যথা, $I=I_0\sin\frac{2\pi}{T}\ t$

এক্ষেত্রেও, যখন $t=T/4, 5T/4\ldots$ তখন প্রবাহমাত্রা সর্বোচ্চ $(+I_0)$ হয়। ইহাকে অনেক সময় প্রবাহমাত্রার শীর্ষমান বলা হয়।

আবার যখন $t=3T/4, 7T/4\ldots$ তখন $I=-I_0$

যখন $t=0, T/2, T\ldots$ তখন $I=0$

[দ্রঃ পরিবর্তী বর্তনীর প্রকার ভেদে, বর্তনীর তড়িচ্চালক বল এবং তড়িৎ-প্রবাহের ভিতর দশাপার্থক্য বিভিন্ন হয়।]

পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহ সাধারণত পরিমাপ করা হয় উহার **গড় বর্গের বর্গমূল মান** (root mean square value) দ্বারা। কোন পূর্ণ চক্রের বিভিন্ন সময়কার তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহের বর্গ লইয়া উহাদের গড় নির্ধারণ করিবার পর ঐ গড়মানের বর্গমূল লইলে গড়বর্গের বর্গমূল মান পাওয়া যায়। প্রমাণ করা যায় পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের গড়বর্গের বর্গমূল মান E এবং তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান E_0 নিম্নলিখিতভাবে সম্পর্কযুক্ত ঃ

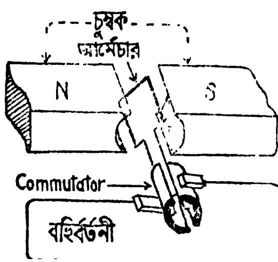
$$E=\frac{E_0}{\sqrt{2}}=0{\cdot}707\,E_0$$

অনুরূপভাবে তড়িৎপ্রবাহের ক্ষেত্রে, গড়বর্গের বর্গমূল মান I এবং তড়িৎ প্রবাহের শীর্ষমান I_0 ইহাদের ভিতর সম্পর্ক $I=\frac{I_0}{\sqrt{2}}=0{\cdot}707\,I_0$

যেমন, 220 ভোল্ট পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল বলিলে উহা তড়িচ্চালক বলের গড়বর্গের বর্গমূল মান বুঝাইবে। উহার শীর্ষমান $E_0=\sqrt{2}\times 220=311$ ভোল্ট।

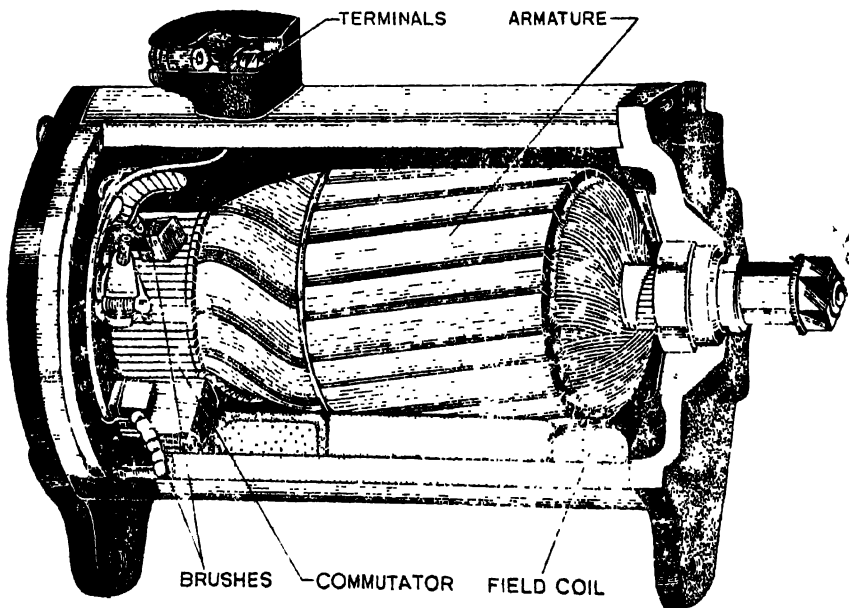
দূরবর্তী স্থানে তড়িৎশক্তি প্রেরণের বেলায় পরিবর্তী প্রবাহ নানাকারণে সুবিধাজনক প্রমাণিত হইয়াছে। তাই, বিস্তৃত পরিসরে তড়িৎশক্তি উৎপাদনের ক্ষেত্রে বর্তমানে শতকরা প্রায় 90 ভাগই পরিবর্তী প্রবাহ উৎপাদন করা হইতেছে।

7·13 D. C. ডায়নামো : A. C. ডায়নামোর সহিত D. C. ডায়নামোর তফাৎ এই যে D. C. ডায়নামোতে কমুটেটার (commutator) যন্ত্রের সাহায্যে বহির্বর্তনীতে সমতড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন করা হয়। 7·12 নং চিত্রে D. C. ডায়নামোর নক্‌শা দেখানো হইয়াছে।



চিত্র 7·12

এস্থলে আর্মেচার-কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত দুইটি অর্ধ-বৃত্তাকার তামার পাতের সহিত যুক্ত। এই দুইটি পাতকে একত্রে কমুটেটার বলা হয়। ইহারা আর্মে-চারের সহিত একসঙ্গে ঘুরিতে পারে। বহির্বর্তনীকে দুইটি ব্রাশের সাহায্যে কমুটেটরের সহিত যুক্ত করা হয়। আর্মেচারকে যখন ঘুরানো হয় আর্মেচার কুণ্ডলীতে তখন পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হয়; কিন্তু ব্রাশ দুইটি এমনভাবে অবস্থিত যে আর্মেচার কুণ্ডলীতে ঠিক যখন তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ বদলায় তখন ব্রাশ দুইটিও পরস্পর কমুটেটার পাত বদলায়। অর্থাৎ, যে-কোন একটি ব্রাশ একটি পাত ছাড়িয়া অন্য পাতকে স্পর্শ করে। ফলে, একটি নির্দিষ্ট ব্রাশ সর্বদা ধনাত্মক তড়িৎ এবং অপরটি ঋণাত্মক তড়িৎ সংগ্রহ করে এবং বহির্বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ সর্বদা একমুখী হয়।



চিত্র 7.13

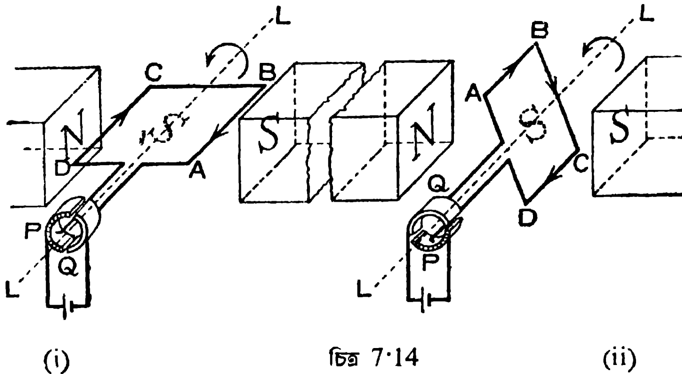
7·13 নং চিত্রে একটি ডি. সি. ডায়নামোর পূর্ণাঙ্গ আকৃতি দেখানো হইল।

7·14 মোটর (Motors)ঃ মোটরের কার্যনীতি ডায়নামোর কার্যনীতির ঠিক বিপরীত। ডায়নামোতে যান্ত্রিক শক্তির বদলে তড়িৎশক্তি পাওয়া যায়। মোটর ঠিক তাহার বিপরীত—অর্থাৎ মোটরে তড়িৎশক্তি হইতে যান্ত্রিক শক্তি পাওয়া যায়।

মোটর দুই প্রকারের হইতে পারে। (1) সম-প্রবাহ মোটর বা Direct Current Motors যাহাকে সংক্ষেপে D. C. Motors বলে এবং (2) পরবর্তী প্রবাহ মোটর বা Alternating Current Motors যাহাকে সংক্ষেপে A. C. Motors বলে। আমরা এখানে সম-প্রবাহ মোটর—অর্থাৎ D. C. Motors সম্বন্ধে আলোচনা করিব।

মোটরের গঠনপ্রণালী ডায়নামোর অনুরূপ; অর্থাৎ ডায়নামোর ন্যায় মোটরে আর্মেচার, শক্তিশালী চুম্বক, ব্রাশ, কম্যুটেটার প্রভৃতি থাকে।

চিত্র 7·14 (i) এবং (ii) দ্বারা মোটরের কার্যপ্রণালী বুঝানো হইল। ABCD আর্মেচার কুণ্ডলী। কুণ্ডলীটি একটি অনুভূমিক অক্ষ LL-এর চতুর্দিকে ঘুরিতে পারে। কুণ্ডলীর সহিত একটি তড়িৎ-কোষ যুক্ত। ধর, তড়িৎপ্রবাহ DCBA অভিমুখে যাইতেছে এবং কুণ্ডলী অনুভূমিক অবস্থায় আছে। এই অবস্থায় তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক মেরু কম্যুটেটার-এর P-পাতের সহিত এবং ঋণাত্মক মেরু Q-পাতের সহিত যুক্ত [7·14 (i) নং চিত্র]। আমরা জানি, তড়িৎবাহী



(i) চিত্র 7·14 (ii)

সঞ্চরণশীল তার চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে তার একটি বল অনুভব করে এবং বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষেপের দিক্ ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম দ্বারা নির্ণয় করা যায়। এস্থলে AB এবং CD বাহুতে তড়িৎ-প্রবাহ আছে এবং উহারা N-S চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত। সুতরাং উহারা প্রত্যেকে একটি বল অনুভব করিবে। ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম প্রয়োগ করিলে দেখা যাইবে, AB তার ঊর্দ্ধমুখী এবং CD তার নিম্নমুখী বল অনুভব করে, কারণ, দুই বাহুতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টা। CB এবং AD বাহু কোন বল অনুভব করে না, কারণ, উহাদের তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখী। ইহার ফলে সমগ্র কুণ্ডলী LL রেখাকে অক্ষ করিয়া ঘুরিয়া যাইবে। উহার ঘুরিবার অভিমুখ তীরচিহ্ন দ্বারা দেখানো হইয়াছে [7.14(i) নং চিত্র]। কুণ্ডলী ঘুরিয়া যখন খাড়া (vertical) অবস্থায় আসিবে [7.14 (ii) নং চিত্র] তখন P-Q কম্যুটেটারের সাহায্যে

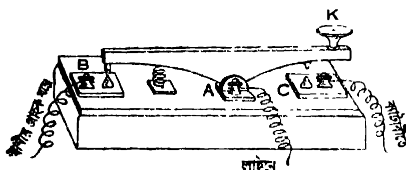
কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া দেওয়া হয়। অর্থাৎ, কোষের ধনাত্মক মেরু Q-পাতের সহিত এবং ঋণাত্মক মেরু P-পাতের সহিত যুক্ত হয়। কুণ্ডলীতে এখন তড়িৎপ্রবাহ ABCD অভিমুখে প্রবাহিত হইবে। [7.14 (ii) নং চিত্র]। পুনরায় AB ও CD বাহুতে ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম প্রয়োগ করিলে দেখা যাইবে, উহাদের উপর বলের অভিমুখ উল্টাইয়া গিয়াছে—অর্থাৎ CD তার উর্ধ্বমুখী এবং AB তার নিম্নমুখী বল অনুভব করিতেছে। ফলে কুণ্ডলী আবার একই দিকে ঘুরিয়া যাইবে। এইরূপ যখনই কুণ্ডলী খাড়া অবস্থায় আসে তখনই কমুটেটারের সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বদলাইয়া কুণ্ডলীকে সর্বদা একই দিকে ঘুরানো হয়। তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা বাড়াইয়া এবং শক্তিশালী চুম্বক ব্যবহার করিয়া কুণ্ডলীকে প্রবলবেগে ঘুরানো যাইতে পারে। কুণ্ডলীর এই আবর্তনকে নানাভাবে অন্য কার্যে প্রয়োগ করা হয়। ইহাই হইল D.C. মোটরের নীতি।

বৈদ্যুতিক পাখা, ট্রামগাড়ি, পাম্প, রোলিং মিল প্রভৃতিতে মোটরের ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখিতে পাওয়া যায়।

7·15 **টেলিগ্রাফ (Telegraph)**ঃ টেলিগ্রাফ যন্ত্র দিয়া তড়িৎপ্রবাহের সাহায্যে একস্থান হইতে অন্যস্থানে সংকেতলিপির মাধ্যমে সংবাদ আদান-প্রদান করা হয়। এই যন্ত্রের প্রধান তিনটি অংশ হইতেছে (i) প্রেরক যন্ত্র (Transmitter or the Morse key), (ii) গ্রাহক যন্ত্র (Receiver or the Morse sounder) এবং (iii) রিলে (Relay)।

যে স্থান হইতে বার্তা পাঠানো হয় সেখানে থাকে প্রেরক যন্ত্র এবং যে স্থানে বার্তা পৌঁছায় সেখানে থাকে গ্রাহক যন্ত্র। দুই যন্ত্রকে যুক্ত করিয়া দীর্ঘ তামার তার খাটানো হয়। ইহাকে বলা হয় লাইন তার। প্রেরক যন্ত্র হইতে তড়িৎপ্রবাহ তার বরাবর গ্রাহক যন্ত্রে পৌঁছায় এবং ভূমির ভিতর দিয়া পুনরায় প্রেরক যন্ত্রে পৌঁছিয়া বর্তনী সম্পূর্ণ করে। এই কারণে প্রেরক যন্ত্র এবং গ্রাহক যন্ত্র উভয়কেই ভূসংলগ্ন রাখা হয়।

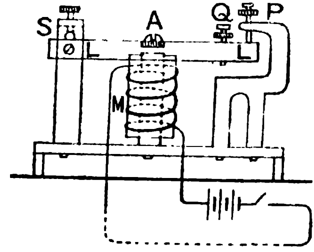
প্রেরক যন্ত্রঃ 7·15 নং চিত্রে একটি প্রেরক যন্ত্রের নকশা দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি তিনমুখ চাবি বিশেষ (three-way key)। B মুখের সহিত স্থানীয় গ্রাহক যন্ত্রের যোগ থাকে। A মুখের সহিত লাইন তারের এবং C মুখের সহিত ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরু যুক্ত থাকে। ব্যাটারীর ঋণাত্মক মেরুকে ভূসংলগ্ন রাখা হয়। একটি লম্বা পিতলের দণ্ড এই যন্ত্রে লিভারের ন্যায় ব্যবহার করা হয়। ঐ দণ্ড A বিন্দুতে আবদ্ধ এবং একটি স্প্রীংয়ের টানে স্বাভাবিক অবস্থায় B মুখের সহিত সংস্পর্শযুক্ত থাকে। K চাবি টিপিলে, B মুখের সংস্পর্শ ছেদ হইয়া দণ্ড C মুখের সহিত যুক্ত হয়। সুতরাং K চাবি টিপিয়া লিভারদণ্ডকে সুবিধামত B অথবা C মুখের সহিত যোগ করা যায়।



চিত্র 7·15

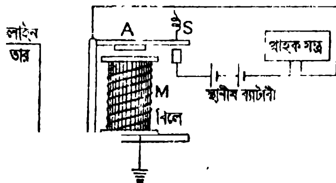
K চাবি না টিপিলে, দূরবর্তী স্থান হইতে তড়িৎপ্রবাহ A মুখে পৌঁছিয়া B মুখ হইয়া স্থানীয় গ্রাহক যন্ত্রে যায়। আর, K চাবি টিপিলে, প্রেরক যন্ত্র হইতে তড়িৎপ্রবাহ A মুখ দিয়া লাইনতার বরাবর দূরবর্তী স্থানের গ্রাহকযন্ত্রে পৌঁছায়।

গ্রাহক যন্ত্র ঃ এই যন্ত্রের প্রধান অংশ হইতেছে একটি তড়িচ্চুম্বক M ; ইহার সামান্য একটু উপরে একটি লিভার দণ্ড L-L-এর সহিত এক টুকরা নরম লোহা (A) যুক্ত থাকে। ইহাকে বলা হয় তড়িচ্চুম্বকের আর্মেচার [চিত্র 7·16]। একটি স্প্রীং S এর টানে স্বাভাবিক অবস্থায় লিভার দণ্ডটি অন্যপ্রান্তের P স্ক্রু-র সহিত যুক্ত থাকে। যখন তড়িৎ-চুম্বকের তারের ভিতর দিয়া দূরবর্তী স্থানের প্রেরকযন্ত্র হইতে প্রেরিত তড়িৎ-প্রবাহ যায় তখন উহা চুম্বকে পরিণত হয় এবং A আর্মেচারকে নিজের দিকে আকর্ষণ করে। ফলে, লিভার দণ্ডের স্ক্রু Q-এর নিম্নপ্রান্ত একটি লোহার পাটাতনের উপর আঘাত করে। আবার, তড়িৎ-প্রবাহের অভাবে তড়িচ্চুম্বক চুম্বকত্ব হারাইলে, A-আর্মেচারকে আকর্ষণ করিতে পারে না। তখন, স্প্রীং-এর টানে লিভার দণ্ড আবার স্বস্থানে ফিরিয়া যায় এবং P স্ক্রু-কে আঘাত করে। এইভাবে প্রেরকযন্ত্র হইতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইবার অবকাশ অনুযায়ী লিভারদণ্ড P এবং Q স্ক্রু-দ্বয়ের মধ্যে উঠানামা করিয়া ঠক্-ঠক্ শব্দ করে। তড়িৎপ্রবাহ খুব অল্প অবকাশের জন্য প্রবাহিত হইলে, অল্প ব্যবধানের মধ্যে দুইটি শব্দ হইবে। 'মর্সকোড' বা মর্স সংকেতলিপি অনুযায়ী ইহাকে বলা হয় 'টরে'। তড়িৎপ্রবাহ বেশী অবকাশের জন্য প্রবাহিত হইলে, দীর্ঘ ব্যবধানে দুইটি শব্দ হইবে এবং ইহাকে বলা হয় 'টক্কা'। 'টরে' এবং 'টক্কা' সম্বলিত মর্স কোড দিয়া এক স্থান হইতে অন্য স্থানে বার্তা পাঠানো হয়।



চিত্র 7·16

রিলে ঃ বহু দূরবর্তী স্থান হইতে বার্তা আসিলে, ঐ প্রবাহ স্বতঃক্ষরণের (natural leakage) জন্য খুব ক্ষীণ হইয়া পড়ে এবং গ্রাহকযন্ত্রে কোন সাড়া জাগাইতে পারে না। এই সকল ক্ষেত্রে গ্রাহকযন্ত্রের সহিত একটি স্থানীয় ব্যাটারী যুক্ত করিয়া উহার বর্তনী উন্মুক্ত রাখা হয়। প্রেরক যন্ত্র হইতে ক্ষীণ তড়িৎপ্রবাহ আসিয়া 'রিলে' ব্যবস্থাকে সক্রিয় করে এবং ঐ রিলের সাহায্যে গ্রাহক যন্ত্রের বর্তনী সম্পূর্ণ হইয়া স্থানীয় ব্যাটারী গ্রাহক যন্ত্রে প্রবল তড়িৎপ্রবাহ পাঠায়। তখন গ্রাহক যন্ত্র সাড়া দেয়।

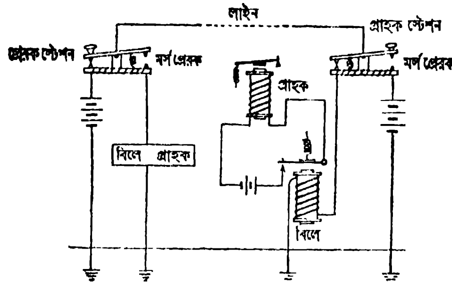


চিত্র 7·17

'রিলে' ব্যবস্থা অনেকটা গ্রাহক যন্ত্রের মত। ইহাতেও একটি সুবেদী তড়িচ্চুম্বক (M) আছে। ইহার তারের পাক সংখ্যা বেশী হওয়ায় ক্ষীণ তড়িৎ প্রবাহেই ইহা শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হয় [চিত্র 7·17]। যখন প্রেরক যন্ত্র হইতে তড়িৎ-প্রবাহ লাইনতার দিয়া আসে তখন উহা চুম্বকীয় আকর্ষণ গুণ পায় এবং A-আর্মেচারকে নিজের দিকে আকর্ষণ করে। ফলে, স্থানীয় B ব্যাটারী-

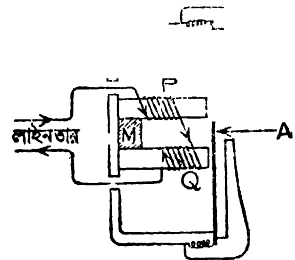
বর্তনী সংহত (closed) হইয়া গ্রাহক যন্ত্রে প্রবল তড়িৎপ্রবাহ পাঠায়। তখন গ্রাহকযন্ত্রে স্পষ্ট 'টরে' এবং 'টক্কা' শব্দ শোনা যায়।

টেলিগ্রাফ পদ্ধতির সরল সংযোগ ব্যবস্থা (Simple plan of a telegraphic system) ঃ দুইটি স্টেশনের মধ্যে টেলিগ্রাফ পদ্ধতির সাহায্যে বার্তা বিনিময় করিতে হইলে উভয় স্টেশনেই গ্রাহক ও প্রেরক যন্ত্র রাখিতে হইবে। তাছাড়া দূরাগত ক্ষীণ তড়িৎপ্রবাহকে শক্তিশালী করিবার জন্য 'রিলে' ব্যবস্থাও রাখিতে হইবে। 7·18 নং চিত্রে ঐরূপ টেলিগ্রাফ পদ্ধতির সরল সংযোগ ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। কোন স্টেশনের প্রেরক যন্ত্র চালু করিলে, তড়িৎপ্রবাহ লাইন তার বরাবর গিয়া অপর স্টেশনের গ্রাহক যন্ত্রের রিলে-কে সক্রিয় করে। 'রিলে' তখন স্থানীয় ব্যাটারী বর্তনী সংহত করিয়া গ্রাহক যন্ত্রে তড়িৎপ্রবাহ পাঠায়। ঐ তড়িৎ-প্রবাহ ভূমি দিয়া পুনরায় প্রেরক যন্ত্রে ফিরিয়া আসে। এই সংযোগ ব্যবস্থায় উভয় দিকেই বার্তা প্রেরণ করা যায়—কিন্তু একইসঙ্গে নয়।



চিত্র 7·18

7·16 <u>টেলিফোন পদ্ধতি</u> (Telephone system) ঃ টেলিগ্রাফে সাংকেতিক শব্দের সাহায্যে একস্থান হইতে অন্যস্থানে সংবাদ আদান-প্রদান করা হয়। কিন্তু 1876 খ্রীষ্টাব্দে আলেকজাণ্ডার গ্রাহাম বেল কর্তৃক আবিষ্কৃত টেলিফোন সংবাদ আদান-প্রদানের ক্ষেত্রে এক অভূতপূর্ব পরিবর্তন আনিল। এই টেলিফোনের সাহায্যে দূরবর্তী লোকের সঙ্গে কথাবার্তা বলা সম্ভব। পূর্বে টেলিফোন পদ্ধতিতে একই ধরনের যন্ত্র গ্রাহক ও প্রেরকরূপে ব্যবহৃত হইত। 7·19 নং চিত্রে ঐরূপ একটি গ্রাহক যন্ত্র দেখানো হইল।



চিত্র 7·19

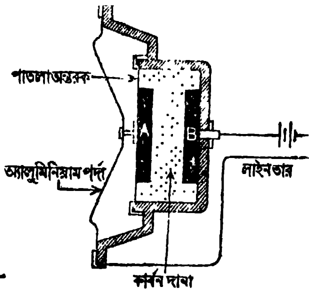
M একটি স্থায়ী চুম্বক। ইহার দুই প্রান্তে দুইটি নরম লোহার দণ্ড P এবং Q আছে। দণ্ড দুইটির গায়ে অন্তরিত তার কুণ্ডলী জড়ানো থাকে। এই তারের দুই প্রান্ত লাইন-তারের সহিত যুক্ত। দণ্ডদ্বয়ের মুক্ত প্রান্তের খুব কাছে একটি নরম লোহার গোল পাতলা পর্দা (diaphragm) A আটকানো থাকে। M চুম্বকের ক্রিয়ায় A পর্দাটি কিছু চুম্বকিত হইয়া থাকে। যখন এই পর্দার সামনে মুখ রাখিয়া কথা বলা হয় তখন এই পর্দাতে কম্পন সৃষ্টি হয়। ফলে চুম্বক হইতে যে বলরেখা বাহির হইয়া কুণ্ডলী ছেদ করে তাহার সংখ্যার পরিবর্তন হয়। তড়িৎচুম্বকীয় আবেশ অনুযায়ী ইহা কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট করে। কুণ্ডলীর ভিতর নরম লোহার দণ্ড থাকায় আবিষ্ট প্রবাহ বেশ জোরালো

হয়। এই তড়িৎপ্রবাহ লাইন-তার বরাবর গ্রাহকযন্ত্রে আসিয়া উহার নরম লোহার দণ্ডে জড়ানো কুণ্ডলীতে প্রবাহিত হয়। ইহাতে গ্রাহকযন্ত্রের নরম লোহার দণ্ডদ্বয় পরিবর্তনশীল প্রাবল্যের চুম্বকে পরিণত হয়। এই প্রাবল্য কম-বেশী হওয়ায় গ্রাহকযন্ত্রে নরম-লোহার তৈরী পর্দা পর্যায়ক্রমে টান খাইয়া আগাইয়া আসে এবং পরক্ষণেই পিছাইয়া যায়; অর্থাৎ প্রেরকযন্ত্রের পর্দা যেভাবে আন্দোলিত হয় গ্রাহকযন্ত্রের পর্দাটি ঠিক সেইভাবে আন্দোলিত হয়। গ্রাহকযন্ত্রের পর্দার এই আন্দোলনের ফলে বায়ুতে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং গ্রাহকযন্ত্রে কান রাখিলে প্রেরকযন্ত্রে যে কথা বলা হয় হুবহু তাহা শোনা যায়।

টেলিফোন লাইনের তারগুলি একটি কেন্দ্রীয় অফিসের সহিত যুক্ত থাকে। ইহাকে 'এক্সচেঞ্জ' (exchange) বলে। এই এক্সচেঞ্জ অফিসে একজন লোক—যাহাকে 'অপারেটার' বলা হয়—দুই ব্যক্তির টেলিফোনের ভিতর যোগাযোগ করিয়া দিলে ঐ দুই ব্যক্তি কথা বলিতে পারে। আধুনিক স্বয়ংক্রিয় টেলিফোন-পদ্ধতিতে এই যোগাযোগ আপনা হইতেই সম্পাদিত হয়। আজকাল টেলিফোন প্রেরকযন্ত্রের অনেক উন্নতিসাধন করা হইয়াছে। টমাস্ আলভা এডিসন কর্তৃক আবিষ্কৃত **কার্বন মাইক্রোফোন** (carbon microphone) আধুনিক টেলিফোনে প্রেরকযন্ত্ররূপে কাজ করে।

7·17 **কার্বন মাইক্রোফোন** (Carbon microphone) : বেল টেলিফোনকে প্রেরকযন্ত্ররূপে ব্যবহার করিলে যে শব্দ সৃষ্টি হয় তাহা খুব জোরালো নয় বলিয়া দূরবর্তী স্থানের সহিত কথাবার্তা বলিবার জন্য আজকাল কার্বন মাইক্রোফোনকে প্রেরকযন্ত্ররূপে ব্যবহার করা হয়। বিখ্যাত আবিষ্কারক টমাস আলভা এডিসন এই মাইক্রোফোন আবিষ্কার করেন।

7·20 নং চিত্রে এই মাইক্রোফোনের নক্শা দেখানো হইল। এই যন্ত্রে কার্বন নির্মিত দুইটি মসৃণ চাকতি A এবং B সামান্য দূরত্ব রাখিয়া বসানো থাকে। উহাদের মধ্যবর্তী স্থান ছোট ছোট কার্বন দানা দ্বারা ভরতি। B চাকতি দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ কিন্তু A চাকতি সঞ্চরণশীল এবং উহার সহিত অ্যালুমিনিয়াম নির্মিত একটি পাতলা পর্দা (diaphragm) যুক্ত থাকে। পর্দাটি নড়িলে A চাকতিও নড়ে। A এবং B এর সহিত লাইন-তার আটকানো থাকে। এই তারের প্রান্তদ্বয় গ্রাহকযন্ত্রের সহিত যুক্ত। গ্রাহক ও প্রেরকযন্ত্রের মধ্যে এবং লাইন তারের সহিত একটি তড়িৎকোষ যুক্ত আছে।

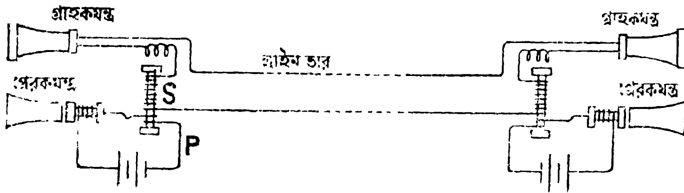


চিত্র 7·20

পর্দার সম্মুখভাগে যন্ত্রটির আকার অনেকটা ফানেলের মত। ইহাকে 'মাউথ-পীস' (mouth-piece) বলে। যখন মাউথ-পীসের সম্মুখে মুখ রাখিয়া কথা বলা হয় তখন পর্দাটি নড়িতে থাকে। পর্দা ভিতরের দিকে সরিয়া গেলে A-চাকতিও ভিতরের দিকে সরে এবং কার্বন দানাগুলি চাপ খায়। ইহাতে কার্বন দানাগুলির রোধ (resistance) কমিয়া যায়। আবার, পর্দা বাহিরের দিকে সরিয়া গেলে এই চাপ কমিয়া যায় এবং সঙ্গে সঙ্গে দানাগুলির রোধ বৃদ্ধি পায়। চাপ পরিবর্তনের ফলে রোধের পরিবর্তন

কার্বনের একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য। এই কারণে কার্বন মাইক্রোফোনে কার্বন দানা ব্যবহার করা হয়। রোধের হ্রাস-বৃদ্ধির ফলে তড়িৎ-কোষ হইতে উৎপন্ন তড়িৎপ্রবাহের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় এবং একটি বিচলিত (fluctuating) তড়িৎ-স্রোত লাইনতার বরাবর গ্রাহকযন্ত্রে উপস্থিত হয়। এই বিচলিত তড়িৎস্রোত গ্রাহকযন্ত্রের পর্দাটিকে প্রেরকযন্ত্রের পর্দার মত নাড়াইতে থাকে এবং তাহার ফলে বায়ুমাধ্যমে শব্দ-তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। গ্রাহকযন্ত্রে কান রাখিলে ঐ শব্দ শোনা যাইবে।

টেলিফোনের সরল সংযোগ-ব্যবস্থা 7·21 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। এই চিত্রে গ্রাহকযন্ত্রটি হইতেছে বেল টেলিফোন এবং প্রেরক যন্ত্রটি কার্বন মাইক্রোফোন। যে কোন স্থানের প্রেরক যন্ত্রে কথা বলিলে লাইন-তার বরাবর তড়িৎপ্রবাহ গিয়া অপরস্থানের গ্রাহকযন্ত্রে উপস্থিত হইবে এবং



চিত্র 7·21

ঐ যন্ত্রে কান রাখিলে কথা শোনা যাইবে। অনুরূপভাবে দ্বিতীয় স্থানে কথা বলিলে প্রথমোক্ত স্থানে তাহা শোনা যাইবে। কার্বন মাইক্রোফোনকে সক্রিয় করিবার জন্য চিত্রে একটি ব্যাটারী দেখানো হইয়াছে। আধুনিক টেলিফোন যন্ত্রে গ্রাহক ও প্রেরক যন্ত্র—উভয়কেই একটি আধারে এমনভাবে রাখা হয় যে প্রেরক যন্ত্র মুখের সামনে থাকে এবং গ্রাহক যন্ত্র কানের কাছে থাকে।

Exercises

1. আবিষ্ট প্রবাহ কাহাকে বলে? চুম্বক এবং তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর সাহায্যে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করিবার পরীক্ষা বর্ণনা কর। [*H. S. Exam. 1960*]

2. তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত পরীক্ষাগুলি সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

3. তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত সূত্রগুলি কি? উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে উহাদের ব্যাখ্যা কর।

4. একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত যুক্ত একটি তারের কুণ্ডলী তোমাকে দেওয়া হইল। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কি ঘটিবে তাহা কারণসহ ব্যাখ্যা কর ঃ

(*a*) কুণ্ডলীর ভিতর একটি দণ্ড-চুম্বকের *N*-মেরু হঠাৎ প্রবেশ করাইলে, (*b*) উহাকে কুণ্ডলীর ভিতর রাখিয়া দিলে, (*c*) উহাকে কুণ্ডলী হইতে হঠাৎ বাহির করিয়া আনিলে।

5. আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ কি? আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ কিভাবে উৎপন্ন করা যায় তাহা বুঝাইবার জন্য দুইটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের (*a*) স্থায়িত্ব, (*b*) অভিমুখ, (*c*) মান কি কি বিষয়ের উপর নির্ভর করে? [*H. S. Exam. 1961*]

6. লেঞ্জের সূত্র বিবৃত কর এবং ইহার সাহায্যে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি ব্যাখ্যা কর।

7. লেঞ্জের সূত্র বিবৃত কর এবং এই সূত্রের সাহায্যে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ কিরূপ হইবে ব্যাখ্যা কর, যখন (*a*) কোন চুম্বকের *S*-মেরু কুণ্ডলীর নিকট আনা হয়, (*b*) দূরে সরাইয়া লওয়া হয়। আবিষ্ট প্রবাহ কোথা হইতে শক্তি সংগ্রহ করে? শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতে কিরূপে লেঞ্জের সূত্র প্রতিষ্ঠা করা যায়?

8. স্বাবেশ ও পারস্পরিক আবেশ কাহাকে বলে? ইহাদের ব্যবহারিক একক কি?

9. একটি আবেশ কুণ্ডলীর বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। এই যন্ত্রের মুখ্য কুণ্ডলী অল্প কয়েকটি পাকের তার দিয়া এবং গৌণ কুণ্ডলী বেশী পাকের তার দিয়া তৈরী করা হয় কেন? এই যন্ত্রে ধারকের কাজ কি?

10. ডায়নামো কাহাকে বলে? ইহার নীতি কি? A.C. এবং D.C. ডায়নামোর পার্থক্য উল্লেখ করিয়া উহাদের বর্ণনা দাও।

11. একটি সরল ডায়নামোর চিত্র আঁক এবং কিভাবে ইহা তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহ করে ব্যাখ্যা কর। এক্ষেত্রে কি ধরনের শক্তি তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয়? এই শক্তি সরবরাহ করা হয় কিরূপে? [*H. S. Exam. 1963*]

12. মোটরের কার্য কি? ডায়নামো এবং মোটরের কার্যনীতির তুলনা কর।

13. পরিবর্তী প্রবাহ বলিতে কি বোঝ? পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে শীর্ষমান এবং গড়বর্গের বর্গমূলমান কাহাকে বলে? উহাদের ভিতর সম্পর্ক কি?

14. একটি পরিবর্তী প্রবাহকে $i=50 \sin 400\pi t$ এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। প্রবাহের কম্পাঙ্ক, শীর্ষমান এবং গড়বর্গের বর্গমূলমান কত?

[Ans. 200 ; 50 amp. 35·36 amp.]

15. একটি পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলকে $E=200 \sin (100\pi t)$ ভোল্ট—এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এই তড়িচ্চালক বলের কম্পাঙ্ক, শীর্ষমান ও গড়বর্গের বর্গমূল মান কত?

[Ans. 50 ; 200 ভোল্ট ; 141·4 ভোল্ট]

16. টেলিগ্রাফ পদ্ধতিতে দুইটি স্থানের ভিতর কিরূপে বার্তা বিনিময় করা যায় তাহা সংক্ষেপে বর্ণনা কর। 'রিলে' প্রণালীর প্রয়োজন কি?

17. সুন্দর চিত্রের সাহায্যে টেলিফোন পদ্ধতি বর্ণনা কর।

18. একটি টেলিফোন ও একটি কার্বন মাইক্রোফোনের নির্মাণ কৌশল বর্ণনা কর। উহাদের সাহায্যে দুইটি দূরবর্তী স্থানের ভিতর কিরূপে কথাবার্তা বলা যায় তাহা বুঝাইয়া দাও। কার্বন মাইক্রোফোনে কার্বন দানা ব্যবহার করা হয় কেন?

আধুনিক পদার্থ বিজ্ঞান

[MODERN PHYSICS]

ক্যাথোড রশ্মি এবং এক্স রশ্মি

(Cathode rays & X-rays) :

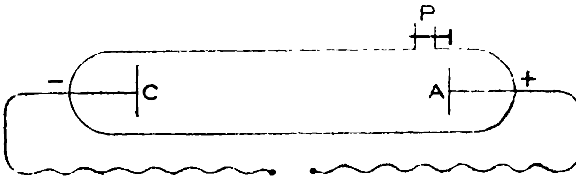
1·1 আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা (Starting of modern Physics) : আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান বলিতে আমরা বুঝি 1890 খ্রীষ্টাব্দে পদার্থবিজ্ঞানে যে যুগান্তকারী আবিষ্কার হয় তাহা হইতে সুরু করিয়া আজ পর্যন্ত পদার্থবিজ্ঞানে যে অগ্রগতি হইয়াছে তাহা। এই অগ্রগতি মূলত পদার্থের পরমাণু বিষয়ক বলিয়া ইহাকে অনেক সময় পারমাণবিক পদার্থবিজ্ঞানও (Atomic Physics) বলা হয়। এখন প্রশ্ন এই যে, 1890 খ্রীষ্টাব্দে কি যুগান্তকারী আবিষ্কার হইল যাহাকে আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের গোড়াপত্তন বলিয়া গণ্য করা হইতেছে? ঐ সময় কয়েকজন বিশিষ্ট বিজ্ঞানী গ্যাসের বিদ্যুৎ পরিবাহিতা সংক্রান্ত পরীক্ষা চালাইতে গিয়া এমন একটি কণিকা আবিষ্কার করেন যাহা পারমাণবিক গঠন সম্পর্কে তদানীন্তন ধারণার আমূল পরিবর্তন করিল। এই কণিকাটি হইতেছে ইলেকট্রন। শুধু তাই নয়, উনবিংশ শতাব্দীর শেষ দশকে এক্সরশ্মি, তেজস্ক্রিয়া প্রভৃতি কয়েকটি বিস্ময়কর আবিষ্কারের ফলে পদার্থের গঠনতত্ত্ব সম্বন্ধে নতুনভাবে চিন্তাভাবনা সুরু হইল। তাই উনবিংশ শতাব্দীর শেষ দশক-কে আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের প্রারম্ভ বলিয়া চিহ্নিত করা হয়।

1·2 গ্যাসের বিদ্যুৎ পরিবাহিতা (Electrical conductivity of gases) : সাধারণ চাপ ও তাপমাত্রায় গ্যাস বিদ্যুতের পরিবাহী নয়—অর্থাৎ সাধারণ অবস্থায় গ্যাসের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎ চলাচল করে না। যেমন, সাধারণ বায়ু একটি উত্তম অন্তরক; ইহা না হইলে স্থির তড়িৎবিজ্ঞানের কোন পরীক্ষাই সফল হইত না। কিন্তু কয়েকটি বিশেষ প্রক্রিয়ার সাহায্যে গ্যাস বা বায়ুকে তড়িৎ-পরিবাহী করা যায়। যেমন, গ্যাসের ভিতর দিয়া অতিবেগুনী রশ্মি (ultraviolet rays), এক্সরশ্মি, গ্যামা রশ্মির ন্যায় ক্ষুদ্র তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ প্রেরণ, আলফা কণা, বিটা কণা প্রভৃতি তেজস্ক্রিয় (radio-active) পদার্থ নির্গত কণার ন্যায় শক্তিসম্পন্ন কণা প্রেরণ, গ্যাসকে উত্তপ্ত করণ, গ্যাসকে নিম্নচাপে রাখিয়া উহার ভিতর দিয়া তড়িৎ মোক্ষণ করণ প্রভৃতি প্রণালী দ্বারা গ্যাস বা বায়ুকে তড়িৎ-পরিবাহী করা যায়।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় গ্যাসে যে তড়িৎ-পরিবাহিতা আবিষ্ট হয় তাহার মূল কারণ হইতেছে গ্যাসে আয়নের (ions) উপস্থিতি। গ্যাসের অণু বা পরমাণুগুলি সাধারণ অবস্থায় নিস্তড়িৎ। কিন্তু ঐ অণু বা পরমাণু হইতে যদি এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন করা যায়, তবে ঐ অণু বা পরমাণুর অবশিষ্টাংশ ধনাত্মক তড়িৎ পাইবে। তখন উহাকে বলা হয় ধনাত্মক আয়ন। মুক্ত ইলেকট্রন যদি কোনক্রমে একটি নিস্তড়িৎ স্বাভাবিক অণু বা পরমাণুর সহিত যুক্ত হয়, তবে উহা ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হইবে এবং তখন উহাকে ঋণাত্মক আয়ন বলা হইবে। যে-প্রণালীতে এই ধরনের আয়ন সৃষ্টি হয় তাহাকে বলে **আয়নয়ন** (ionisation)।

1·3 তড়িৎ মোক্ষণ নলের ঘটনাবলী (Phenomena observed in a discharge tube)ঃ বায়ু বা গ্যাস তড়িতের অপরিবাহী ঠিকই, কিন্তু পরিপূর্ণভাবে অপরিবাহী নহে। তড়িৎগ্রস্ত স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের সাহায্যে 1900 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী সি. টি. আর. উইলসন এই তথ্য পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণ করেন। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, বায়ুর চাপ ক্রমশ কমাইলে উহার তড়িৎ পরিবাহিতা একটু একটু করিয়া বাড়ে। নিম্নচাপে বায়ুর মধ্যে তড়িৎমোক্ষণের (electric discharge) নানারকম পরীক্ষা করেন ক্রুক্স, মেনার্ড, জে. জে. টমসন প্রমুখ বিজ্ঞানীরা। বায়ুর চাপ কমাইবার সঙ্গে সঙ্গে তড়িৎমোক্ষণের ফলে নানারকম কৌতূহলোদ্দীপক ঘটনা ঘটিতে দেখা যায়। ইহাদের তড়িৎমোক্ষণ নলের ঘটনাবলী বলে।

গ্যাসে তড়িৎ মোক্ষণজনিত ঘটনাবলী প্রদর্শনের জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাহা 1·1 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। ইহা প্রায় 30 cm. দীর্ঘ ও 4 cm. ব্যাসের চোঙাকৃতি শক্ত কাচের নল। ইহার দুই মুখই বন্ধ এবং ঐ দুই মুখের ভিতর দিয়া দুইটি ধাতব তড়িৎ-দ্বার (C এবং A) সীল করিয়া ঢুকানো আছে। নলের গা দিয়া একটি ছিদ্র আছে। ঐ ছিদ্রের মুখে একটি প্যাচকল



চিত্র 1·1

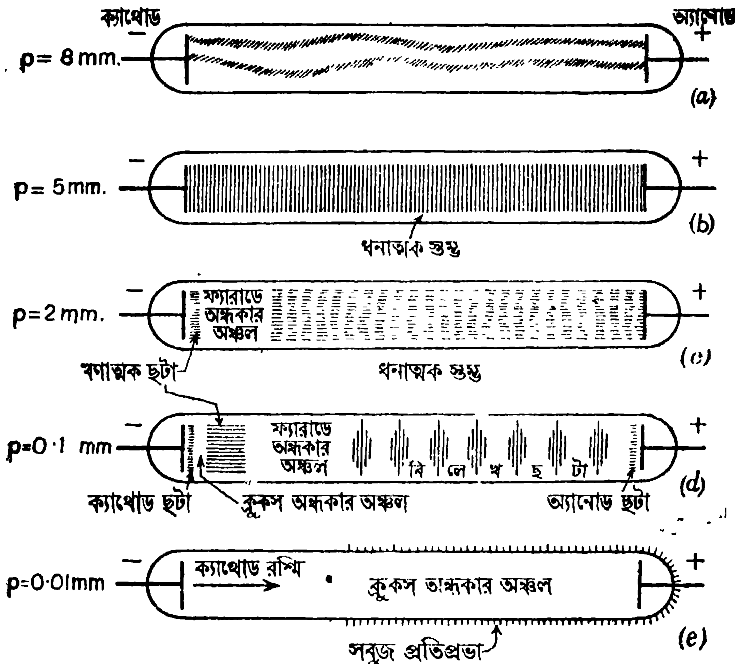
P আটকানো থাকে। ঐ ছিদ্রের সহিত একটি বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প এবং ম্যানোমিটার লাগানো যাইতে পারে। তড়িৎ-দ্বার দুইটির সহিত আবেশ কুণ্ডলীর (induction coil) গৌণ-কুণ্ডলী (secondary coil) যুক্ত করিয়া উচ্চ বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা যাইতে পারে। ঋণাত্মক মেরুর সহিত যুক্ত তড়িৎদ্বারকে বলা হয় ক্যাথোড (C) এবং ধনাত্মক মেরুর সহিত যুক্ত তড়িৎ-দ্বারকে বলা হয় অ্যানোড (A)।

নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ু-চাপ পাম্পের সাহায্যে ধাপে ধাপে কমাইয়া তড়িৎ মোক্ষণ পাঠাইলে নিম্নলিখিত ঘটনাবলী পরপর ঘটিতে দেখা যায়।

পাম্পের সাহায্যে নলের বায়ু নিষ্কাশিত করিয়া যখন বায়ু-চাপ প্রায় 8 mm. পারদ চাপে পৌঁছায় এবং দুই তড়িৎ-দ্বারের ভিতর 10,000 হইতে 15,000 ভোল্ট বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হয় তখন প্রথম তড়িৎ-মোক্ষণ হইতে সুরু করে। বেগুনী-নীল রংয়ের লম্বা স্ফুলিঙ্গ সাপের ন্যায় আঁকিয়া বাঁকিয়া এক তড়িৎ-দ্বার হইতে অপর তড়িৎ-দ্বার পর্যন্ত যাইতে দেখা যায় [চিত্র 1.2 (a)]।

বায়ুচাপ কমিয়া 5 mm. পারদস্তম্ভের সমান হইলে তড়িৎমোক্ষণ অনেকটা বিন্যস্ত হয় এবং দুই তড়িৎ-দ্বারের মধ্যেকার জায়গা উজ্জ্বল গোলাপী রংয়ের আলোকস্তম্ভ অধিকার করে [চিত্র 1·2(b)]। ইহাকে **ধনাত্মক স্তম্ভ** (positive column) বলে। এইসঙ্গে একটা মৃদু

একটানা শব্দ শোনা যায়। ধনাত্মক স্তম্ভের রং নলের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের উপর নির্ভর করে। বায়ুর বেলায় গোলাপী, নিয়নের ক্ষেত্রে গাঢ় লাল, হিলিয়ামে হলদে ইত্যাদি হয়।



চিত্র 1·2

বিজ্ঞাপন অথবা সাইনবোর্ড হিসাবে বড় বড় দোকানে 'নিয়ন সাইন' রূপে যাহা দেখা যায় তাহা এই ধনাত্মক স্তম্ভ। ধনাত্মক স্তম্ভের এইরূপ বাণিজ্যিক ব্যবহার প্রথম প্রবর্তন করেন গাইসলার নামে একজন বিজ্ঞানী। তাই, ইহাকে 'গাইসলার টিউব' বলা হয়।

বায়ু-চাপ আরো কমাইয়া 2mm. পারদস্তম্ভের সমান করিলে ধনাত্মক স্তম্ভ ক্যাথোড দ্বার পরিত্যাগ করিয়া সম্মুখের দিকে কিছুটা অগ্রসর হয় এবং ক্যাথোড পাতের চতুর্দিকে একটি নীলাভ আলোক-ছটা দেখা যায়। ঐ আলোকছটাকে বলা হয় **ঋণাত্মক ছটা** (negative glow)। ঋণাত্মক ছটা এবং ধনাত্মক স্তম্ভের মধ্যে একটি অন্ধকার অঞ্চলের উদ্ভব হয়। ইহাকে বলা হয় **ফ্যারাডে অন্ধকার অঞ্চল** (Faraday dark space) চিত্র [1·2 (c)]।

বায়ু-চাপ আরো কমাইলে (প্রায় 0·1mm পারদস্তম্ভ) ধনাত্মক স্তম্ভের দৈর্ঘ্য হ্রাস পায় এবং ফ্যারাডে অন্ধকার অঞ্চল বিস্তৃত হইয়া পড়ে। চাপ আরো কিছু কমাইলে ঋণাত্মক ছটা ক্যাথোড পাত হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া পড়ে এবং ক্যাথোড এবং ঋণাত্মক ছটার ভিতরে আর একটি অন্ধকার স্থানের উদ্ভব হয়। ইহাকে বলা হয় **ক্রুকস অন্ধকার অঞ্চল** (Crooke's dark space)। ক্রুকস্ অন্ধকার অঞ্চল গঠিত হইবার সময় নিরবিচ্ছিন্ন ধনাত্মক স্তম্ভ ভাঙিয়া পড়ে; তাহার পরিবর্তে সেখানে ছোট ছোট আলোর চাকতি (striations) দেখা যায়। এই চাকতিগুলির ফাঁকে

ফাঁকে অন্ধকার থাকে। ইহাকে বলা হয় **বিলেখ ছটা** [চিত্র 1·2(d)]। তাছাড়া, ক্যাথোডের উপরে একটি নীলচে আভা দেখা দেয়। ইহাকে বলা হয় **ক্যাথোড ছটা** (cathode glow)। অ্যানোডপাতের চতুর্দিকেও একটি গোলাপী আভা দেখা যায়—যাহাকে বলা হয় **অ্যানোড ছটা** (anode glow)।

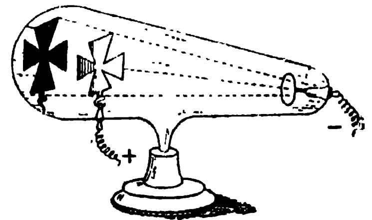
পাম্প চালাইয়া আরো বায়ু নিষ্কাশন করিয়া লইলে, বিলেখ ছটা এবং ঋণাত্মক ছটা নিষ্প্রভ হইয়া পড়ে এবং ক্রুকস্ অন্ধকার অঞ্চল বিস্তৃত হয়। চাপ কমিয়া প্রায় 0·01mm. পারদস্তম্ভের সমান হইলে, নলের সমস্তটাই প্রায় ক্রুকস্ অন্ধকার অঞ্চল অধিকার করে এবং নলটির অভ্যন্তর কার্যত সম্পূর্ণভাবে অন্ধকারাচ্ছন্ন হয়। কিন্তু এই সময়ে একটি নতুন ঘটনা ঘটে। নলটি নিজে —বিশেষ করিয়া ক্যাথোডের বিপরীত দিকের কাচের দেওয়াল—হালকা সবুজ আলোয় দীপ্তিমান হইয়া উঠে। এই দীপ্তিকে বলা হয় **প্রতিপ্রভা** (fluorescence)। এই অবস্থায় ক্যাথোড হইতে অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র একপ্রকার বস্তু-কণিকা নির্গত হইয়া প্রচণ্ড বেগে কাচের দেওয়ালে পড়ে এবং উপরোক্ত প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে। এই কণিকাগুলি চোখে দেখা যায় না। ইহাদের বলা হয় **ক্যাথোড রশ্মি** (cathode rays)।

বায়ুচাপ আরো কমাইলে, তড়িৎ মোক্ষণ খুব কষ্টকর হইয়া পড়ে এবং অবশেষে আর কোন তড়িৎ মোক্ষণ হইতে চায় না।

1·4. **ক্যাথোড রশ্মি** (Cathode rays) : পূর্ব অনুচ্ছেদে উল্লেখ করা হইয়াছে যে মোক্ষণ নলে বায়ু-চাপ ·01 mm. পারদস্তম্ভের কাছাকাছি করিয়া তড়িৎমোক্ষণ পাঠাইলে, নলের প্রায় সমস্ত অংশ অন্ধকারাচ্ছন্ন থাকে এবং ক্যাথোড পাতের বিপরীত দিকের দেওয়াল প্রতিপ্রভ হয়। ক্যাথোড তলের লম্বভাবে এক প্রকার ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণিকার নির্গমন হইয়া ঐ প্রতিপ্রভার সৃষ্টি হয়। এই কারণে ঐ কণিকাস্রোতকে **ক্যাথোড রশ্মি** বলা হয়। পেরিন, টমসন, ক্রুকস্ প্রমুখ বিজ্ঞানীদের অনুসন্ধানের ফলে জানা গেল যে এই কণিকাগুলি অতি দ্রুতগতিসম্পন্ন ঋণাত্মক তড়িৎবাহী কণিকা ইলেকট্রন ছাড়া আর কিছু নয়। অর্থাৎ এই ইলেকট্রন-স্রোতই ক্যাথোড রশ্মি।

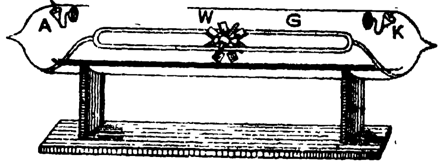
1·5. **ক্যাথোড রশ্মির বিভিন্ন ধর্ম** (Different properties of cathode rays) : (i) অ্যানোডের অবস্থান যাহাই হউক না কেন, ক্যাথোড রশ্মির কণিকাগুলি ক্যাথোড পাতের অভিলম্বভাবে নির্গত হয়।

(ii) ক্যাথোড রশ্মি আলোক রশ্মির ন্যায় ঋজুরেখায় চলাচল করে। ক্যাথোড-রশ্মির পথে একটি অস্বচ্ছ বস্তু রাখিলে পিছনের দেওয়ালে উহার ছায়া পড়িবে। 1·3 নং চিত্রে ক্যাথোড রশ্মির পথে একটি অ্যালুমিনিয়াম চাকতি (তারকাকৃতি) রাখিয়া পিছনের দেওয়ালে উহার কিরূপে ছায়া পড়ে, তাহা দেখানো হইয়াছে। আলোকরশ্মিও ঋজু-রেখায় চলাচল করিয়া অস্বচ্ছ বস্তুর ঐরূপ ছায়া সৃষ্টি করে।



চিত্র 1·3

(iii) ক্যাথোড রশ্মির কণিকাগুলি যথেষ্ট চাপ প্রয়োগ করিতে পারে। 1·4নং চিত্রে W একটি পাতলা অভ্রের চাকা দুইটি রেল লাইনের উপর রাখা আছে। এখন ক্যাথোডরশ্মি উৎপন্ন করিয়া উহার উপর ফেলিলে, চাকাটি ক্যাথোড হইতে অ্যানোডের দিকে গড়াইয়া যাইবে। তড়িৎদ্বার দুইটি উল্টাইয়া দিলে চাকাটি আবার বিপরীত দিকে গড়াইয়া যাইবে। ইহা প্রমাণ করে যে ক্যাথোডরশ্মির কণিকাগুলি চাপ প্রয়োগে সক্ষম।

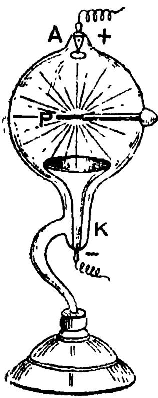


চিত্র 1·4

(iv) জিঙ্ক সালফাইড প্রভৃতি কতকগুলি বস্তুর উপর আপতিত হইলে, ক্যাথোডরশ্মি ঐ বস্তুগুলিকে প্রতিপ্রভ করিয়া তোলে।

(v) আলোকরশ্মির ন্যায় ক্যাথোডরশ্মিরও ফটোগ্রাফী প্লেটের উপর প্রতিক্রিয়া আছে।

(vi) ক্যাথোডরশ্মির কণিকাগুলি কোন বস্তুর উপর পড়িলে বস্তুকে উত্তপ্ত করে। ইহা হইতে বোঝা যায় যে রশ্মির কণিকাগুলি অত্যন্ত বেগবান—অর্থাৎ যথেষ্ট গতিশক্তির অধিকারী। 1·5 নং চিত্রে ক্যাথোড পাতটি (K) অবতল এবং উহার বক্রতা-কেন্দ্রে একখণ্ড প্লাটিনাম (P) রাখা আছে। ক্যাথোডরশ্মি অবতল ক্যাথোড হইতে অভিলম্বরূপে নির্গত হইয়া বক্রতা-কেন্দ্রে অর্থাৎ প্লাটিনাম খণ্ডের উপর একত্রীভূত হইবে। ইহাতে প্লাটিনাম খণ্ডটি উত্তপ্ত হইয়া উঠিবে। ক্যাথোড-রশ্মির কণিকাগুলির গতিশক্তিই এক্ষেত্রে তাপশক্তিতে পরিণত হইতেছে।

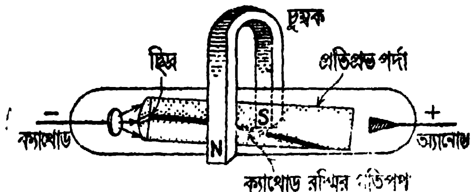


চিত্র 1·5

(vii) গ্যাসের ভিতর দিয়া পাঠাইলে ক্যাথোডরশ্মি গ্যাসের অণুগুলিকে আয়নিত করে।

(viii) তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়া গেলে ক্যাথোড-রশ্মির পথের বিচ্যুতি হয়। ইহা প্রমাণ করে যে, কণিকাগুলি তড়িৎগ্রস্ত। বিচ্যুতির অভিমুখ লক্ষ্য করিয়া বলা যায় কণিকাগুলির তড়িৎ ঋণাত্মক।

1·6 নং চিত্রে একটি বিশেষ ধরনের মোক্ষণ নল দেখানো হইয়াছে। ক্যাথোড প্লেট হইতে ক্যাথোড রশ্মি একটি ছিদ্রের ভিতর দিয়া গিয়া সূক্ষ্ম রশ্মির আকার ধারণ করে। রশ্মির গতিপথের সহিত সামান্য কোণ করিয়া ধাতু নির্মিত লম্বা একখানা প্রতিপ্রভ পর্দা রাখা হয়। ঐ পর্দার সহিত ক্যাথোডরশ্মির কণাগুলির

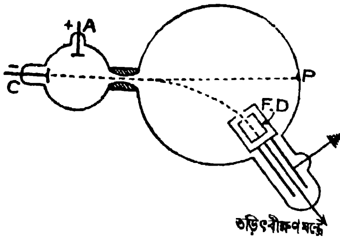


চিত্র 1·6

সংঘর্ষ হইলে, প্রতিপ্রভার সৃষ্টি হয় এবং ক্যাথোডরশ্মির গতিপথ পরিষ্কার দেখা যায়। একটি অশ্বখুর তড়িৎ-চুম্বককে নলের বাহিরে নলের আড়াআড়িভাবে চিত্রে যেরূপ দেখানো হইয়াছে ঐরূপ রাখিলে দেখা যাইবে যে ক্যাথোড রশ্মির গতিপথ নিচের দিকে বাঁকিয়া গিয়াছে। তড়িৎ-চুম্বকের মেরুদ্বয় উল্টাইয়া দিলে ক্যাথোড রশ্মি উপরের দিকে বাঁকিয়া যাইবে। চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ, ক্যাথোডরশ্মির কণাগুলির গতির অভিমুখ এবং ইহাদের বিচ্যুতির অভিমুখের উপর ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম প্রয়োগ করিলে দেখা যাইবে যে কণিকাগুলি ঋণাত্মক তড়িৎবাহী।

1·6. ক্যাথোড রশ্মির প্রকৃতি (Nature of cathode rays) : তড়িৎ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা ক্যাথোড রশ্মির বিচ্যুতি লক্ষ্য করিয়া বলা যায় যে কণিকাগুলি ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত। ইহা পেরিন আর একটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করিয়াছিলেন।

যন্ত্রটি একটি মোক্ষণ নল। ইহার দুইটি কুণ্ড আছে [চিত্র নং 1·7]। ছোট কুণ্ডতে ক্যাথোড C এবং এক পাশে অ্যানোড A থাকে। অপর কুণ্ডে একটি পার্শ্বনল আছে। দুইটি কুণ্ডের সংযোগস্থল খুব সরু এবং ঐ সরুপথে সূক্ষ্ম ক্যাথোডরশ্মি বড় কুণ্ডে প্রবেশ করিয়া সোজা পথে P বিন্দুতে প্রতিপ্রভ আলোকবিন্দু উৎপন্ন করে। পার্শ্বনলে ভূসংলগ্ন একটি চোঙ আছে। উহার অভ্যন্তরে কিন্তু বাহিরের চোঙের সহিত সংস্পর্শ না রাখিয়া আর একটি ছোট চোঙ আছে। ইহাকে ফ্যারাডে চোঙ (F. D.) বলে। ফ্যারাডে চোঙ একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের সহিত যুক্ত। যখন ক্যাথোডরশ্মি সোজাপথে গিয়া P বিন্দুতে আলোকছটা উৎপন্ন করে তখন তড়িৎবীক্ষণে কোন তড়িতাধান দেখা যায় না। এখন একটি উপযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের দ্বারা ক্যাথোডরশ্মিকে বাঁকাইয়া ফ্যারাডে চোঙে প্রবেশ করাইলে, তৎক্ষণাৎ দেখা যায় যে তড়িৎবীক্ষণ ঋণাত্মক তড়িৎ লাভ করিয়াছে।



চিত্র 1·7

সুতরাং এই পরীক্ষা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে ক্যাথোডরশ্মির কণিকাগুলি ঋণাত্মক তড়িৎ বহন করে। এই কণিকাগুলির নামকরণ করা হয় **ইলেকট্রন** (electron)।

1·7. ইলেকট্রনের তড়িতাধান, ভর ও শক্তি (charge, mass and energy of an electron) : ইলেকট্রনের তড়িতাধান পরিমাপের গুরুত্বপূর্ণ পরীক্ষা করেন আর. এ. মিলিকান 1913 খ্রীষ্টাব্দে। তাঁহার পরীক্ষা হইতে জানা যায় যে ইলেকট্রনের তড়িতাধান $e=1·6\times10^{-20}$ $e.m.u=4·8\times10^{-10}$ $e.s.u.$

ইলেকট্রনের ভর $m=9·1\times10^{-28}$ gm.

এস্থলে, উল্লেখযোগ্য যে সর্বাপেক্ষা হালকা মৌল হাইড্রোজেনের একটি পরমাণুর ভর $M=1·67\times10^{-24}$ gm.

কাজেই, $\frac{M}{m}=\frac{1·67\times10^{-24}}{9·1\times10^{-28}}=1835$ (প্রায়)

অর্থাৎ একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর একটি ইলেকট্রন ভরের 1835 গুণ ; ইহা হইতে বোঝা যায় পরমাণু অবিভাজ্য বলিয়া যে ধারনা ছিল, তাহা ঠিক নয় ; পরমাণু বিভাজ্য এবং তাহা ভাঙিয়া আরো ছোট কণিকা পাওয়া যায়।

ইলেকট্রন চোখে দেখা যায় না। সুতরাং উহাকে সনাক্ত করিতে গেলে ইহা যে সকল প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে—যেমন, প্রতিপ্রভা, আয়নয়ন, ইত্যাদি—তাহার সাহায্য লইতে হয়। এই সকল প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করিবার জন্য, আবার, ইলেকট্রনকে গতিশীল হইতে হইবে। ইলেকট্রনকে সহজে গতিশীল করার উপায় হইতেছে উহার উপর স্থির তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করা। এই ধরনের গতিশীল ইলেকট্রনের গতিশক্তিকে **ইলেকট্রন-ভোল্ট** (electron volt) এককে প্রকাশ করা হয়। ইহার সংজ্ঞা নিম্নরূপ ঃ

একটি ইলেকট্রন যদি 1 ভোল্ট বিভব-প্রভেদের ভিতর দিয়া যায় তবে তাহার যে গতিশক্তি হয়, তাহাকেই 1 ইলেকট্রন-ভোল্ট বলে। ইলেকট্রন-ভোল্ট একক-কে সংক্ষেপে ev লেখা হয়।

আর্গ হুইল শক্তির পরম একক এবং ইলেকট্রন-ভোল্ট ব্যবহারিক একক। এই দুইয়ের মধ্যে সম্পর্ক নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যায় ঃ

$1\ ev = e.s.u.$ এককে ইলেকট্রনের তড়িতাধান × 1 ভোল্ট

$$= 4{\cdot}803 \times 10^{-10} \times \frac{1}{300} \quad [1 \text{ ভোল্ট} = \frac{1}{300}\ e.s.u.]$$

$$= 1{\cdot}601 \times 10^{-12} \text{ ergs}$$

যেহেতু 1 ev শক্তি ব্যবহারিক ক্ষেত্রে অনেক সময় ছোট একক বলিয়া অনুভূত হইয়াছে সেইহেতু কিলো-ইলেকট্রন-ভোল্ট (Kev) এবং মিলিয়ন ইলেকট্রন-ভোল্ট (Mev) এই দুইটি বড় এককের প্রচলন আছে।

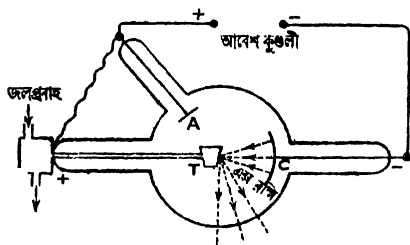
$1\ Kev = 10^3\ ev$ এবং $1\ Mev = 10^6\ e.v.$

1·8. **এক্স-রশ্মির আবিষ্কার** (Discovery of x-rays) ঃ 1895 খ্রীষ্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী উইলহেলম্ রনজেন মোক্ষণনলে খুব নিম্নচাপ সৃষ্টি করিয়া বায়ুমধ্যে তড়িৎ-মোক্ষণের পরীক্ষা করিতে গিয়া এক অভাবনীয় ঘটনা লক্ষ্য করেন। মোক্ষণজনিত আভা ভাল-ভাবে লক্ষ্য করিবার জন্য তিনি মোক্ষণ নলের চতুর্দিকে কালো রংয়ের পাতলা কার্ডবোর্ডের আবরণ দিয়া লইয়াছিলেন। তিনি লক্ষ্য করেন যে, যতবারই তড়িৎ মোক্ষণ পাঠানো হইতেছে ততবারই মোক্ষণ নল হইতে কিছুদূরে রাখা একটি বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড প্লেট উজ্জ্বল হইয়া উঠিতেছে। তিনি আরো লক্ষ্য করিলেন যে মোক্ষণ নল এবং বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড প্লেটের মাঝখানে মোটা ধাতব চাকতি রাখিলে প্লেটে ঐ চাকতির ছায়া পড়িতেছে ; কিন্তু অ্যালুমিনিয়াম, কাগজ, কাঠ প্রভৃতি হাল্কা বস্তু রাখিলে কোন ছায়া হইতেছে না। রনজেন এই ঘটনাতে খুবই বিস্মিত হইলেন। তিনি মনে মনে স্থির করিলেন যে নিশ্চয়ই কোন অদৃশ্য কিন্তু শক্তিশালী রশ্মি মোক্ষণ নল হইতে নির্গত হইতেছে যাহা কোন পাতলা জিনিসের বাধা মানে না। পরে, নানারূপ অনুসন্ধানের পর তিনি এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে মোক্ষণ নল হইতে ক্যাথোড রশ্মি যখন নলের দেওয়ালে পড়ে তখন ঐ অজ্ঞাত রশ্মির উৎপত্তি হয়। সাধারণভাবে যখনই দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন কোন

প্রতিবন্ধক দ্বারা বাধা প্রাপ্ত হয়, তখনই এই ধরনের উচ্চ ভেদশক্তি সম্পন্ন (penetrative power) রশ্মি তৈয়ারী হয়। এই রশ্মির প্রকৃতি রনজেনের জানা না থাকায়, তিনি ঐ রশ্মির নামকরণ করেন **এক্সরশ্মি** (x-rays); কারণ, গাণিতিক রীতি অনুযায়ী কোন অজ্ঞাত রাশিকে প্রকাশ করিবার জন্য সাধারণত ইংরাজী 'এক্স' অক্ষরটি ব্যবহার করা হয়।

1·9. এক্সরশ্মির উৎপাদন (Production of x-rays): এক্সরশ্মি উৎপাদনের জন্য যে মোক্ষণ নল ব্যবহার করা হয় তাহাকে এক্স-রশ্মি নল বলে। 1·8 নং চিত্রে এই নলের নক্শা দেখানো হইয়াছে।

ক্যাথোডরশ্মি উৎপাদনের মোক্ষণ নলটির সামান্য পরিবর্তন করিলেই এক্সরশ্মি নল পাওয়া যায়। নলের ক্যাথোড পাতটি (C) অবতল এবং অ্যালুমিনিয়ামের তৈরী। অ্যানোড পাতটি (A) সাধারণত একপাশে সরানো থাকে। ক্যাথোড পাতের ঠিক সম্মুখে আর একটি তড়িদ্দ্বার থাকে। ইহাকে বলা হয় অ্যান্টি-ক্যাথোড বা টার্গেট (T)। ইহা অ্যানোডের সঙ্গে যুক্ত থাকে। অ্যান্টি-ক্যাথোডের সম্মুখতল সমতল এবং ইহা অবতল ক্যাথোড পাতের অক্ষের সহিত 45° কোণে অবস্থিত। অ্যান্টি-ক্যাথোডটি এমনভাবে রাখা হয় যে, ক্যাথোড পাত হইতে ক্যাথোডরশ্মি নির্গত হইয়া অ্যান্টি-ক্যাথোডে একত্রীভূত হয়। ইহা উচ্চ গলনাংকযুক্ত ধাতু যেমন, প্লাটিনাম, মলিবডিনাম বা টাংস্টেন দ্বারা তৈরী করা হয়।



চিত্র 1·8

ক্যাথোড এবং অ্যানোডের ভিতর আবেশ কুণ্ডলী যুক্ত করিয়া 30,000 হইতে 50,000 volts বিভব-পার্থক্য প্রয়োগ করিলে এবং নলমধ্যস্থ বায়ুচাপ 0·001 mm. রাখিলে, ক্যাথোড পাত হইতে দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হইয়া অ্যান্টি-ক্যাথোড দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হইবে এবং এক্সরশ্মি উৎপাদন করিবে।

ক্যাথোড পাত হইতে নির্গত ইলেকট্রনগুলির প্রভূত গতিশক্তি থাকে। ইলেকট্রনগুলি অ্যান্টি-ক্যাথোডপাতে অকস্মাৎ ধাক্কা খাইলে, এই গতিশক্তির অধিকাংশ তাপশক্তিতে এবং কিছু অংশ এক্সরশ্মিতে পরিণত হয়। এই কারণে অ্যান্টিক্যাথোড পাত খুব উষ্ণ হইয়া পড়ে। এই তাপে অ্যান্টিক্যাথোড পাত যাহাতে না গলিয়া যায় সেইজন্য উচ্চ গলনাঙ্কের ধাতু দ্বারা এই পাত তৈয়ারী করা হয়। তাছাড়া, অ্যান্টিক্যাথোডের সহিত যুক্ত দীর্ঘ দণ্ডের চতুর্দিকে শীতল জল প্রবাহিত করাইয়া এই তাপের অনেকাংশ অপসারিত করা হয়।

বর্তমানে, কুলিজ নল, বিটাট্রোন প্রভৃতি অনেক উন্নত যন্ত্র দ্বারা এক্সরশ্মি উৎপন্ন করা হয়।

1·10. এক্সরশ্মির ধর্মাবলী (Properties of x-rays): বিজ্ঞানীদের সমবেত প্রচেষ্টায় নানারকম পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে এক্স-রশ্মির পরপৃষ্ঠায় বর্ণিত ধর্মাবলী আবিষ্কৃত হইয়াছে:

(1) এক্সরশ্মি তড়িৎক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না। ইহা প্রমাণ করে, এক্স-রশ্মি ক্যাথোড রশ্মির মত তড়িৎগ্রস্ত কণিকা-স্রোত নয়। ইহা খুব ক্ষুদ্র তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের (10^{-8} cm.-এর কাছাকাছি) তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ।

(2) ইহারা সরল রেখায় চলাচল করে। শূন্য মাধ্যমে ইহার গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান।

(3) ইহাদের ভেদনশক্তি আছে। যেমন, মানুষের দেহের রক্তমাংস ভেদ করিয়া এক্সরশ্মি যাইতে পারে কিন্তু হাড় ভেদ করিতে পারে না। ফলে, ফটোগ্রাফী প্লেট এবং এক্সরশ্মি নলের মাঝখানে হাত রাখিলে ফটোগ্রাফী প্লেটে হাড়ের সুস্পষ্ট ছবি পাওয়া যাইবে [চিত্র 1·9]। এক্সরশ্মি নলের অ্যানোড ও ক্যাথোডের ভিতর নিম্নবিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে যে এক্সরশ্মি পাওয়া যায় তাহাকে **কোমল এক্সরশ্মি** (soft x-rays) বলে। কোমল এক্সরশ্মির ভেদনশক্তি খুব কম। প্রযুক্ত বিভব-প্রভেদ উচ্চ হইলে, **কঠিন এক্সরশ্মি** (hard x-rays) উৎপন্ন হয়। ইহার ভেদনশক্তি বেশী।



চিত্র 1·9

(4) বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড, জিঙ্ক সালফাইড প্রভৃতি বস্তুতে এক্সরশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করিতে পারে।

(5) কোন গ্যাসের মধ্য দিয়া এক্সরশ্মি গেলে গ্যাসের অণুগুলি আয়নিত হয় এবং ঐ গ্যাস তড়িৎ পরিবাহী হয়।

(6) ফটোগ্রাফী প্লেটের উপর এক্সরশ্মির প্রতিক্রিয়া আছে।

(7) এক্সরশ্মির আলোক তড়িৎ (photo-electric) ক্রিয়া আছে—অর্থাৎ কোন কোন ধাতববস্তুর উপর এক্সরশ্মি পড়িলে ঐ বস্তু হইতে ইলেকট্রনের নিঃসরণ হয়।

(8) সাধারণ আলোকতরঙ্গের ন্যায় এক্সরশ্মির ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি হইয়া থাকে।

1·11. এক্সরশ্মির প্রকৃতি (Nature of x-rays) : রনজেন যখন প্রথম এই রশ্মি আবিষ্কার করেন তখন ইহার প্রকৃতি সম্বন্ধে তাঁহার কোন ধারণাই ছিল না। তাই তিনি এই রশ্মির নাম দিয়াছিলেন এক্সরশ্মি। কিন্তু পরে যখন দেখা গেল যে, তড়িৎক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্র এই রশ্মির গতিকে প্রভাবিত করে না তখন এ সম্বন্ধে নিঃসন্দেহ হওয়া গেল যে ক্যাথোডরশ্মির মত ইহারা তড়িৎগ্রস্ত কণিকা নয়। স্বাভাবিক কারণেই তখন এই সিদ্ধান্ত করা হইল যে এক্সরশ্মি সাধারণ আলোকরশ্মির ন্যায় তরঙ্গ। কিন্তু তিনি আলোর সঙ্গে এক্সরশ্মির এই সমধর্মিতা পরীক্ষা-মূলক ভাবে প্রমাণ করিতে পারেন নাই। প্রকৃতপক্ষে পরবর্তীকালের কয়েকজন বিজ্ঞানীই এই প্রচেষ্টায় বিফল মনোরথ হইয়াছিলেন।

আলোর সহিত এক্সরশ্মির সমধর্মিতা প্রমাণে প্রথম সাফল্য লাভ করেন জার্মান বিজ্ঞানী ভন

লাউই। কেলাসের সাহায্যে তিনি এক্সরশ্মির অপবর্তন (diffraction) পরীক্ষামূলক-ভাবে প্রতিষ্ঠা করেন। অতঃপর, ব্র্যাগ, কম্পটন, বার্কলা প্রমুখ বিজ্ঞানীরা একে একে প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, সমবর্তন প্রভৃতি অন্যান্য আলোকীয় ধর্মাবলী এক্সরশ্মির ক্ষেত্রে প্রতিষ্ঠা করিয়া প্রমাণ করেন যে এক্সরশ্মি সাধারণ আলোর মতই তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ।

1·12. **এক্সরশ্মির প্রয়োগ** (Applications of x-rays) : বিভিন্ন ক্ষেত্রে এক্স-রশ্মির প্রভূত প্রয়োগ দেখা যায়। নিম্নে ইহার সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হইল।

(i) **চিকিৎসা ক্ষেত্রে**—চিকিৎসা ক্ষেত্রে এক্সরশ্মির অবদান অভূতপূর্ব। এক্সরশ্মির সাহায্যে ফটোগ্রাফী প্লেটে হাড়ের যে ছবি পাওয়া যায় তাহাকে 'রেডিওগ্রাফ' বলে। হাড় ভাঙ্গিয়া গেলে বা দেহের ভিতর অবাঞ্ছিত বস্তু প্রবেশ করিলে চিকিৎসকগণ রেডিওগ্রাফের সাহায্যে তাহার অবস্থান সঠিক ভাবে নির্ণয় করিতে পারেন। রোগগ্রস্ত তন্তুকে (tissue) এক্সরশ্মি ধ্বংস করিতে পারে। তাই, ক্যানসার, টিউমার প্রভৃতি রোগের নিরাময়, পেটের ভিতর ঘা হইলে তাহার উপশম, চর্মরোগের নিরাময় প্রভৃতি কার্যে এক্সরশ্মি চিকিৎসকদের প্রভূত সহায়তা করিতেছে। তবে এক্সরশ্মির প্রয়োগের মাত্রা (doses) খুব সতর্কতার সহিত স্থির করিতে হইবে যাহাতে সুস্থ তন্তু ক্ষতিগ্রস্ত না হয়।

(ii) **শিল্প ক্ষেত্রে**—কড়ি, বরগা বা ঐ ধরনের ঢালাই বস্তুর গলদ নির্ণয়, ঝালাইয়ের ত্রুটি, লুক্কায়িত ক্ষয়ক্ষতি নির্ধারণ, মোটর গাড়ীর টায়ার, গলফ ও টেনিস বলের ত্রুটি নির্ধারণ, ঝিনুকের ভিতর লুকানো মুক্তার অস্তিত্ব সন্ধান প্রভৃতি নানারকম শিল্প-প্রতিষ্ঠানে এক্সরশ্মির প্রয়োগ আছে।

(iii) **বৈজ্ঞানিক কার্যে**—উচ্চতর বৈজ্ঞানিক গবেষণা, কেলাসের গঠনশৈলী পর্যা-লোচনা, পরমাণুর গঠনশৈলী ও ধর্মাবলী পর্যালোচনা এবং আরো অনেক বৈজ্ঞানিক গবেষণা কার্যে এক্সরশ্মি প্রয়োগ করা হয়।

(iv) **পুলিশ বিভাগে**—চোরা চালান নিবারণে শুল্ক বিভাগ ও পুলিশ বিভাগ এক্সরশ্মি ব্যবহার করে। নিষিদ্ধ বস্তু কাঠের বা ধাতব বাক্সে লুকানো থাকিলে, গহনা বা মুদ্রা গলাধঃকরণ করিলে এক্সরশ্মির সাহায্যে তাহা ধরিয়া ফেলা যায়। তাছাড়া, হত্যাকাণ্ডের অনুসন্ধানে আধুনিক ফরেনসিক বিভাগ এক্সরশ্মি ব্যবহার করিতেছে।

Exercises

1. মোক্ষণ নলে চাপ ক্রমশ হ্রাস করিলে, যে-যে ঘটনাবলী দেখা যায়, তাহার বিবরণ দাও। বায়ুতে তড়িৎমোক্ষণ পাঠাইতে হইলে, চাপ হ্রাস করিতে হয় কেন?

2. ক্যাথোড রশ্মি কি? উহাদের ধর্মাবলী কি কি? ঐ কণাগুলির উৎপত্তি কিরূপে হয়?

3. ইলেকট্রন-ভোল্ট কাহাকে বলে? আর্গের সহিত ইলেকট্রন-ভোল্টের সম্পর্ক কি?

4. এক্সরশ্মি কাহাকে বলে? এই রশ্মি উৎপাদনের একটি ব্যবস্থা বর্ণনা কর। ইহার ধর্মাবলী কি?

5. ক্যাথোডরশ্মি এবং এক্সরশ্মির ভিতর মূলগত পার্থক্য কি? এক্সরশ্মি কি কি কাজে প্রয়োগ করা হয়?

6. ইলেকট্রনের তড়িতাধান কত? ইহা যে ঋণাত্মক তড়িৎ তাহা কিরূপে বোঝা যায়?

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

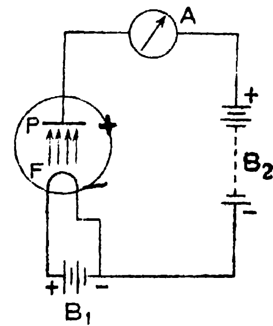
তাপীয় আয়ন নিঃসরণ ও উহার প্রয়োগ

(Thermionic emission and its applications)

2·1. **ভূমিকা** (Introduction) ঃ যে কোন ধাতব পদার্থে প্রচুর পরিমাণ **স্বাধীন ইলেকট্রন** (free electrons) থাকে—যাহারা ঐ পদার্থের কোন বিশেষ অণুর সহিত সংযুক্ত নয়। ধাতব পদার্থের ভিতরে এই ইলেকট্রনগুলি সতত সঞ্চরণশীল এবং ইহাদের গতিবেগ তাপমাত্রাবৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায়। এই কারণে, কোন ধাতব প্লেটকে বায়ুশূন্য স্থানে রাখিয়া উত্তপ্ত করিলে, উহার ইলেকট্রনগুলি এত বেগবান হয় যে শেষ পর্যন্ত ইলেকট্রনগুলি ধাতব প্লেট পরিত্যাগ করিয়া প্লেটের নিকটবর্তী অঞ্চলে জমা হয়। এইভাবে কোন উত্তপ্ত ধাতববস্তু হইতে ইলেকট্রনের নিঃসরণকে **তাপীয় আয়ন নিঃসরণ** বলা হয়। একটি বৈদ্যুতিক ফিলামেন্ট বাতি লইয়া পরীক্ষা করিতে গিয়া 1885 খ্রীষ্টাব্দে এডিসন এই ঘটনা লক্ষ্য করেন। তাপপ্রয়োগে নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলিকে বলা হয় **তাপীয় আয়ন** (thermions) এবং ইহারা যে তড়িৎপ্রবাহের উৎপত্তি করিবে তাহাকে বলা হয় **তাপীয় আয়ন প্রবাহ** (thermionic current)।

2·2. **দ্বিতড়িৎদ্বার বিশিষ্ট তাপীয়-আয়ন ভাল্ভ অথবা ডায়োড** (Two-electrode thermionic valve or Diode) ঃ এডিসনের পরীক্ষা-ব্যবস্থা অনুসরণ করিয়া 1904 খ্রীষ্টাব্দে ফ্লেমিং সর্বপ্রথম তাপীয়-আয়ন ভাল্ভ উদ্ভাবন করেন। প্রথমে ইহাকে 'ফ্লেমিং ভাল্ভ' বলিয়া উল্লেখ করা হইত ; বর্তমানে ইহার নাম হইয়াছে 'ডায়োড' (diode)।

একটি বায়ুশূন্য কাচের কুণ্ডে একটি ফিলামেন্ট F এবং একটি প্লেট P আবদ্ধ করা হয় [চিত্র 2·1]। B_1 ব্যাটারীর সাহায্যে ফিলামেন্টকে উত্তপ্ত করিয়া ভাস্বর করিলে উহা হইতে তাপীয়-আয়ন নিঃসরণ পদ্ধতিতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এখন, আর একটি ব্যাটারী B_2-এর সাহায্যে P প্লেটকে ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভব দিলে, ইলেকট্রনগুলি আকর্ষিত হইয়া P প্লেটের দিকে অগ্রসর হইবে এবং ফিলামেন্ট হইতে প্লেটের দিকে একটি তাপীয়-আয়ন প্রবাহ চলিতে থাকিবে। P প্লেটের সহিত একটি মিলি-অ্যামমিটার (A) যুক্ত করিলে, ঐ প্রবাহের দরুন মিলি-অ্যামমিটার একটি বিক্ষেপ উৎপন্ন হইবে। কিন্তু B_2 ব্যাটারীর মেরুদ্বয়কে উল্টাইয়া P প্লেটকে ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভব দিলে, ঐরূপ কোন প্রবাহ পাওয়া যায় না। কাজেই, F এবং P-এর মধ্যে প্রবাহ সর্বদা একমুখী। এই কারণে ইহাকে ভাল্ভ বলা হয়।



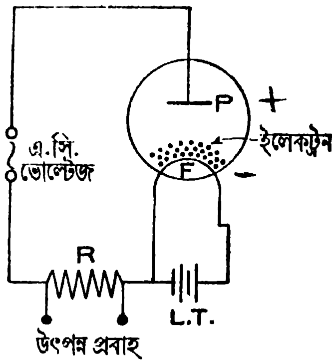
চিত্র 2·1

B_1 ব্যাটারীর ভোল্টেজ সাধারণত খুব কম হয়; এইজন্য ইহাকে নিম্নটানের (low

tension) ব্যাটারী বলিয়া উল্লেখ করা হয়। B_2 ব্যাটারীর ভোল্টেজ, অপরপক্ষে, খুব উচ্চ হয় হয় এবং ইহাকে বলা হয় উচ্চ টানের (high tension) ব্যাটারী।

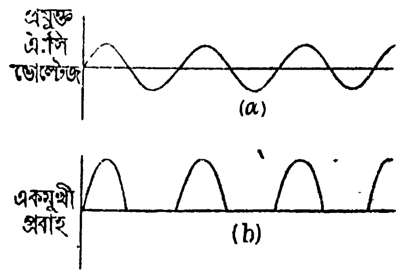
সাধারণভাবে, ডায়োড ভাল্‌ভের P-প্লেটকে বলা হয় **অ্যানোড (anode) বা প্লেট** (plate) এবং ইলেকট্রন নিঃসরণকারী ফিলামেণ্টকে (F) বলা হয় **ক্যাথোড**। কোন কোন ভাল্‌ভে ক্যাথোড-এর সহিত ব্যাটারী যুক্ত করিয়া উহাকে সরাসরি উত্তপ্ত করিবার ব্যবস্থা থাকে [চিত্র 2·1]। এই ক্যাথোড তৈরী করা হয় খুব সরু তারের রিবন দ্বারা এবং ইহার রোধ এরূপ থাকে যে উহাতে একটি নির্দিষ্ট ভোল্টেজ প্রয়োগ করিলে, প্রচুর ইলেকট্রন নিঃসরণ করিবার উপযোগী তাপমাত্রা পায়। কোন কোন ভাল্‌ভে ক্যাথোডকে উত্তপ্ত করিবার পরোক্ষ ব্যবস্থা (indirect arrangement) করা হয়। এই ধরনের ক্যাথোড এ. সি. এবং ডি. সি. উভয়প্রকার ভোল্টেজে ব্যবহার করিবার সুবিধা আছে।

2·3. ডায়োডের ব্যবহার ; একমুখীকরণ (Use of diode ; rectification) : আজকাল পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখীকরণ—অর্থাৎ এ. সি.-কে ডি. সি.-তে রূপান্তরিতকরণের কাজে ডায়োড বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হইতেছে। নিম্নলিখিত পদ্ধতিতে ডায়োড একমুখীকরণের কাজ সম্পন্ন করে।



চিত্র 2·2

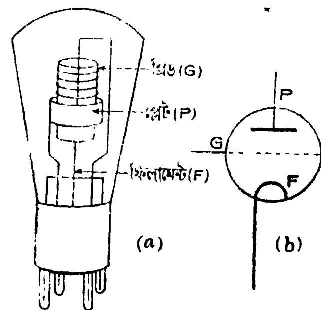
P এবং F হইল ডায়োড ভাল্‌ভের যথাক্রমে প্লেট ও ফিলামেণ্ট (চিত্র 2·2)। ফিলামেণ্টকে উত্তপ্ত করিবার জন্য নিম্ন ভোল্টেজ ব্যাটারী (L.T) ব্যবহার করা হইয়াছে। প্লেট এবং ফিলামেণ্টের ভিতর কোন এ. সি. ভোল্টেজ যুক্ত করিলে, ফিলামেণ্টের সাপেক্ষে প্লেট পর্যায়ক্রমে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক বিভব পাইবে। যখন প্লেট P ধনাত্মক বিভব পায় তখন ফিলামেণ্ট হইতে নির্গত ইলেকট্রনগুলি প্লেটে পৌঁছাইবে এবং প্লেট বর্তনী দিয়া অর্থাৎ R-রোধকের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ যাইবে। কিন্তু যখন প্লেট P ঋণাত্মক বিভব পায়, তখন ইলেকট্রনগুলি প্লেটে পৌঁছাইবে না—ফলে, R রোধকের ভিতর দিয়া কোন প্রবাহ পাওয়া যাইবে না। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে রোধকের ভিতর দিয়া একটি বিরতিযুক্ত (intermittent) কিন্তু সর্বদা একমুখী প্রবাহ যাইতেছে। প্রযুক্ত এ.সি. ভোল্টেজকে 2·3(a)নং চিত্র দ্বারা প্রকাশ করিলে রোধকের ভিতর দিয়া উৎপন্ন প্রবাহ (output current) 2·3 (b) নং চিত্রের মত হইবে। চিত্র হইতে সহজে



চিত্র 2·3

বোঝা যায় এ.সি. সরবরাহের উপরার্ধের দরুন R-রোধকের মধ্য দিয়া প্রবাহ যাইতেছে কিন্তু নিম্নার্ধের দরুন কোন প্রবাহ যাইতেছে না। ইহাকে অর্ধ-তরঙ্গ একমুখীকরণ (half-wave rectification) বলে। দুইটি ডায়োড ব্যবহার করিয়া এ. সি. সরবরাহের দুই অর্ধকেই একমুখী করা যায় এবং উৎপন্ন প্রবাহকে ধারক, রোধক ইত্যাদি যুক্ত উপযুক্ত বর্তনীর ভিতর দিয়া পাঠাইয়া সম্পূর্ণরূপে সমপ্রবাহে (direct current) পরিণত করা যায়। ইহাকেই পূর্ণতরঙ্গ একমুখী-করণ (full wave rectification) বলে।

2·4. **ত্রিতড়িৎদ্বার ভালভ্ বা ট্রায়োড** (Three-electrode valve or triode) ঃ 1907 খ্রীষ্টাব্দে ডক্টর লি. ডি. ফরেস্ট ডায়োডের ভিতর আর একটি অতিরিক্ত তড়িদ্দ্বার প্রবেশ করাইয়া ভালভের কিছু উন্নতিসাধন করেন। এই তৃতীয় তড়িদ্দারকে বলা হয় গ্রিড (grid)। গ্রিডের অন্তর্ভুক্তির ফলে ভালভের কার্যকারিতার ব্যাপক উন্নতি ও ব্যাপ্তি ঘটিয়াছে। এই ভালভে তিনটি তড়িদ্দ্বার আছে বলিয়া ইহাকে বলা হয় **ট্রায়োড** (triode)। আধুনিক ট্রায়োড ভালভের গঠন নিম্নরূপ [চিত্র 2 4(a)]।



চিত্র 2·4

সম্পূর্ণরূপে বায়ুশূন্য একটি কাচের কুণ্ডে তিনটি তড়িদ্দ্বার প্রবেশ করানো থাকে ঃ (i) ফিলামেন্ট F- ইহা সাধারণত থোরিয়েটেড টাংগস্টেন অথবা প্লাটিনামের উপর অক্সাইড প্রলেপ দিয়া তৈরী করা হয়। ইহাতে নিম্ন তাপমাত্রায় প্রচুর পরিমাণ ইলেকট্রন নির্গত হয়।

(ii) গ্রিড G—ইহা সমতল ধাতব তারজালি হইতে পারে। সেক্ষেত্রে ইহাকে ফিলামেন্টের ঠিক উপরেই বসানো হয়। অথবা, তারকুণ্ডলী হইলে, ফিলামেন্টকে অক্ষ করিয়া ফিলামেন্টের চতুর্দিক ঘিরিয়া বসানো হয়।

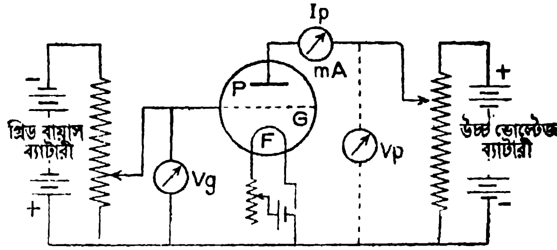
(iii) প্লেট P—গ্রিড সমতল তারজালি হইলে, প্লেটও একটি সমতল পাত লওয়া হয় এবং গ্রিডের কিছু উপরে ফাঁক রাখিয়া বসানো হয়। গ্রিড তারকুণ্ডলী হইলে, প্লেটকে চোঙাকৃতি দেওয়া হয় এবং উহা গ্রিডকে ঘিরিয়া থাকে। চিত্রের সাহায্যে ট্রায়োডকে যে-ভাবে প্রকাশ করা হয় তাহা 2·4(b) নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

ফিলামেন্টের সহিত যুক্ত দুইটি তার কাচকুণ্ডের বাহিরে আনা থাকে এবং উহাদের সহিত নিম্ন ভোল্টেজ ব্যাটারী যোগ করিয়া ফিলামেন্টে প্রবাহ পাঠানো হয় এবং ফিলামেন্টকে উত্তপ্ত করা হয়। প্লেট এবং গ্রিড—প্রত্যেকের সঙ্গে একটি করিয়া তার যুক্ত করিয়া কুণ্ডের বাহিরে আনা হয় এবং উহাদের সহিত ব্যাটারী যুক্ত করিয়া ফিলামেন্টের সাপেক্ষে প্রয়োজনমত ধনাত্মক অথবা ঋণাত্মক বিভব দেওয়া হয়। ট্রায়োডের এই তিনটি তড়িদ্দ্বার পরস্পর হইতে সম্পূর্ণরূপে অন্তরিত।

ট্রায়োডের ব্যবহার ঃ 2·5 নং চিত্রে ট্রায়োড ব্যবহারের একটি সাধারণ বর্তনী-ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। **এই বর্তনীকে তিনটি অংশে ভাগ করা যাইতে পারে ঃ**

(i) **ফিলামেন্ট বর্তনী**—একটি রিওস্ট্যাট ও একটি নিম্ন-ভোল্টেজ ব্যাটারী (প্রায় 6 ভোল্ট) ফিলামেন্ট F-এর সহিত শ্রেণীসমবায়ে আবদ্ধ। ব্যাটারী-প্রদত্ত তড়িৎ-প্রবাহ ফিলামেন্টকে উত্তপ্ত করে। তখন, ফিলামেন্ট হইতে ইলেকট্রনের নির্গমন হয়।

(ii) **প্লেট বর্তনী**—পোটেনসিওমিটার ব্যবস্থাসহ একটি উচ্চ-ভোল্টেজ ব্যাটারী (0-200 ভোল্ট) প্লেট ও ফিলামেন্টের ভিতর আবদ্ধ। ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরু প্লেট P-এর সহিত



চিত্র 2·5

এবং ঋণাত্মক মেরু ফিলামেন্ট F-এর সহিত আবদ্ধ। কাজেই, ফিলামেন্টের সাপেক্ষে প্লেটকে 0-ভোল্ট হইতে 200-ভোল্ট পর্যন্ত যে-কোন ধনাত্মক বিভব দেওয়া যাইতে পারে। প্লেটের সহিত শ্রেণীসমবায়ে আবদ্ধ একটি মিলি-অ্যামমিটার (*m*A) প্লেট-প্রবাহ (I_p) পরিমাপ করে এবং সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ একটি ভোল্টমিটার (V_p) প্লেটে প্রদত্ত বিভব পরিমাপ করে।

(iii) **গ্রিড বর্তনী**—একটি অপেক্ষাকৃত কম ভোল্টেজের ব্যাটারী (0—20 ভোল্ট) পোটেনসিওমিটার ব্যবস্থা সহ গ্রিড (G) এবং ফিলামেন্টের সহিত যুক্ত থাকে। ইহাকে বলা হয় 'গ্রিড বায়াস' (grid bias) ব্যাটারী। এই ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত গ্রিডের সহিত এবং ধনাত্মক প্রান্ত ফিলামেন্টের সহিত যুক্ত। ফলে, ফিলামেন্টের সাপেক্ষে গ্রিডকে বিভিন্ন ঋণাত্মক বিভব দেওয়া যাইবে। ঐ বিভব পরিমাপ করিবার জন্য একটি ভোল্ট-মিটার (V_g) গ্রিড ও ফিলামেন্টের ভিতর যুক্ত থাকে। ব্যাটারীর প্রান্তদ্বয় উল্টাইয়া দিয়া প্রয়োজনমত গ্রিডকে ধনাত্মক বিভবও দেওয়া যাইতে পারে।

উপরোক্ত বর্তনী হইতে বোঝা যায় যে, ফিলামেন্টের সাপেক্ষে প্লেটকে ধনাত্মক বিভব দিলে, ফিলামেন্ট হইতে নির্গত ইলেকট্রনগুলি প্লেটে পৌঁছাইবে এবং প্লেট-বর্তনী দিয়া পুনরায় ফিলামেন্টে ফিরিয়া আসিবে। ইহাতে একটি প্লেট-প্রবাহ (plate current) পাওয়া যাইবে এবং মিলি-অ্যামমিটার ঐ প্রবাহ পরিমাপ করিবে। প্লেটের ধনাত্মক বিভব বৃদ্ধি করিলে, প্লেট-প্রবাহও একটু একটু করিয়া বৃদ্ধি পায় এবং অবশেষে প্লেট-প্রবাহ সংপৃক্ত মান পায়। এখন, ফিলামেন্টের নিকটবর্তী গ্রিডকে ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভব দিলে, গ্রিড ফিলামেন্ট হইতে নির্গত ইলেকট্রনগুলিকে বিকর্ষণ করিবে। ফলে, প্লেট-প্রবাহ হ্রাস পাইবে। কিন্তু গ্রিডকে ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভব দিলে, উহা ইলেকট্রনগুলিকে আকর্ষণ করিবে এবং ইলেকট্রনগুলিকে প্লেটে পৌঁছাইতে সহায়তা করিবে। ইহাতে প্লেট-প্রবাহ বৃদ্ধি পাইবে। এইভাবে গ্রিডের

বিভব পরিবর্তন করিয়া ইচ্ছামত প্লেট-প্রবাহ বাড়ানো বা কমানো যাইতে পারে। প্লেট-প্রবাহ (I_p) এবং গ্রিড-ভোল্টেজ (V_g)-এর সম্পর্ক 2·6 নং চিত্রে লেখ-র সাহায্যে দেখানো হইয়াছে। উহাকে ট্রায়োডের বৈশিষ্ট্যলেখ (characteristic curve) বলে।

এখন ট্রায়োডে সুবিধামত গ্রিড-বায়াস দিয়া লইলে দেখা যায় যে খুব সামান্য গ্রিড-ভোল্টেজ পরিবর্তনে প্রচুর পরিমাণ প্লেট-প্রবাহ পাওয়া যায়। প্লেট-ভোল্টেজ পরিবর্তন করিয়া ঐ প্লেটপ্রবাহ পাইতে গেলে, অনেকগুণ প্লেট-ভোল্টেজের পরিবর্তন করিতে হয়। ট্রায়োড-কে এইভাবে কাজে লাগাইলে বলা হয় ট্রায়োড **বিবর্ধকরূপে** (amplifier) কাজ করিতেছে। বিবর্ধক রূপে ট্রায়োডের কার্যপ্রণালী নিম্নলিখিত বিবরণ হইতে পরিষ্কার বোঝা যাইবে।

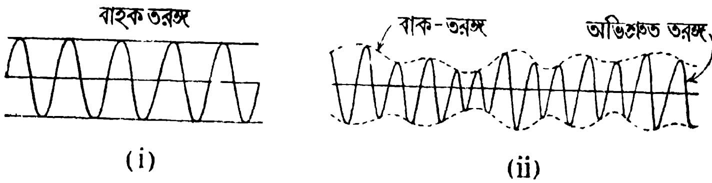
চিত্র 2·6

ট্রায়োডের বৈশিষ্ট্য-লেখ লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে উহার BA অংশ বেশ খাড়া এবং ঋজু। ঐ অংশের মধ্যবিন্দু C যে গ্রিড-ভোল্টেজ প্রকাশ করে (চিত্রে E বিন্দু) সেই অনুযায়ী যদি গ্রিড-ব্যায়াস ব্যাটারীর সাহায্যে গ্রিড-কে ঋণাত্মক বিভব দেওয়া যায়, তবে প্লেট বর্তনীতে OL পরিমাণ স্থির প্রবাহ পাওয়া যাইবে। এই অবস্থায় যদি গ্রিডে কোন পরিবর্তী বিভব আরোপিত হয় তবে গ্রিডের বিভব E-বিন্দুর উভয় দিকে পরস্পরাক্রমে (alternately) পরিবর্তিত হইবে। তরঙ্গের ধনাত্মক-অর্ধের জন্য গ্রিড-বিভব OE হইতে বৃদ্ধি পাইয়া OD হইবে (অর্থাৎ গ্রিড-বিভব প্রারম্ভিক অবস্থার তুলনায় কম ঋণাত্মক হইবে) এবং ঋণাত্মক-অর্ধের জন্য গ্রিড-বিভব OE হইতে হ্রাস পাইয়া OF হইবে (অর্থাৎ গ্রিড প্রারম্ভিক অবস্থার তুলনায় বেশী ঋণাত্মক হইবে)। গ্রিড-বিভবের এই পরিবর্তনের ফলে প্লেট-প্রবাহের যে-পরিবর্তন হইবে তাহা 2·6 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। প্লেট-প্রবাহের পরিবর্তন গ্রিড-ভোল্টেজ পরিবর্তনেরই অনুরূপ কিন্তু প্রবাহের বিস্তার (amplitude) অনেক বেশী। ফলে, গ্রিডে আগত সংকেতকে (signal) ট্রায়োড অবিকৃত-ভাবে (without distortion) বিবর্ধিত করিবে। বৈশিষ্ট্য লেখ হইতে বোঝা যায় যে ACB অংশ যত খাড়া (steep) হইবে প্লেট-প্রবাহ তত বৃদ্ধি পাইবে। এই কারণে বেশী বিবর্ধন পাইতে গেলে, বৈশিষ্ট্য লেখ-র সর্বাপেক্ষা খাড়া অংশ ব্যবহার করিতে হইবে এবং ঐ খাড়া অংশের মধ্য বিন্দুকে কার্যকর বিন্দু (working point) হিসাবে গ্রহণ করিতে হইবে।

2·5 বেতার সম্বন্ধে প্রাথমিক তথ্যাদি (Elementary principles of radio) **:** তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের সাহায্যে মুহূর্তের মধ্যে পৃথিবীর এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে বেতার অনুষ্ঠান সম্প্রচার ও গ্রহণ পদ্ধতি আধুনিক বিজ্ঞানের এক বিস্ময়কর অধ্যায়। প্রকৃতপক্ষে বেতার-বিজ্ঞান আজ এত উন্নত ও প্রসারিত যে ইহার সম্যক আলোচনা এই ক্ষুদ্র পরিসরে সম্ভব নয়। তাই, আমরা এই অনুচ্ছেদে বেতার সম্প্রচার ও গ্রহণ পদ্ধতি সম্পর্কে প্রাথমিক আলোচনা করিব।

(i) **সম্প্রচার পদ্ধতি** (Transmission system) : বেতারে প্রচারিত কথিকা, সঙ্গীত ইত্যাদি অনুষ্ঠানের কম্পাঙ্কের পাল্লা সুদূর প্রসারিত। ইহা প্রায় 50 হইতে 20,000 cycles/sec.-এর মধ্যে অবস্থিত এবং ইহাদের বিস্তারও ভিন্ন। যখন কোন ব্যক্তি মাইক্রোফোনের সম্মুখে কথা বলে বা গান গায়, তখন মাইক্রোফোন ঐ শব্দশক্তিকে পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহে রূপান্তরিত করে। এই প্রবাহের কম্পাঙ্ক ও বিস্তার মূল শব্দের কম্পাঙ্ক ও বিস্তার অনুযায়ী পরিবর্তিত হয়। সুতরাং বলা যায়, মাইক্রোফোন শব্দশক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করে। এই রূপান্তরিত তড়িৎশক্তির বিভিন্ন কম্পাঙ্কের নাম **শ্রাব্য কম্পাঙ্ক** (audio-frequencies)। নানা কারণে এই শ্রাব্য-কম্পাঙ্কের তড়িৎ-তরঙ্গকে—যাহা মূল কথিকা বা সঙ্গীতকে প্রকাশ করে—এককভাবে ইথার মাধ্যমের ভিতর দিয়া স্থান হইতে স্থানান্তরে প্রেরণ করা যায় না এবং তাহার ফলে দূরবর্তী কোন গ্রাহক স্টেশনে উহার গ্রহণ ও সম্প্রচার সম্ভব নয়।

বেতার সম্প্রচার পদ্ধতিতে শ্রাব্য-কম্পাঙ্কের তরঙ্গকে ইথার মাধ্যমের ভিতর দিয়া দূরবর্তী গ্রাহক স্টেশনে বহন করিবার জন্য **বাহকের** (carrier) প্রয়োজন। প্রকৃতপক্ষে এই বাহক-তরঙ্গ আর কিছুই নয়—উচ্চ কম্পাঙ্কের এবং স্থির বিস্তারের তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ [চিত্র 2·7(i)]। ট্রায়োড এই ধরনের বাহক-তরঙ্গ উৎপন্ন করিতে পারে। প্রেরক স্টেশনে (transmitting station) একটি সুউচ্চ এ্যানটেনা স্থাপন করা হয়। ঐ অ্যানটেনার সাহায্যে

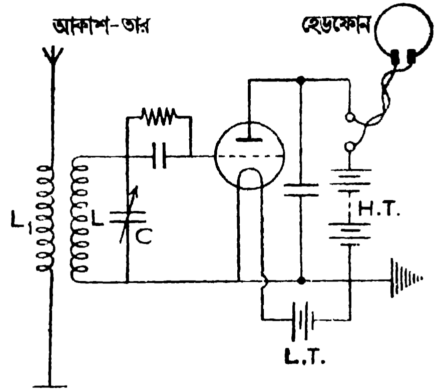


চিত্র 2·7

ট্রায়োড ইথার মাধ্যমে বাহক-তরঙ্গ ছড়াইয়া দেয়। যখন কোন কথা বা সংগীত প্রেরণ করা না হয়, তখন এই বাহক-তরঙ্গের বিস্তার সমান থাকে। বেতার-অনুষ্ঠান প্রচারে যে বাহক-তরঙ্গ প্রেরণ করা হয় তাহার দৈর্ঘ্য 10 হইতে 500 মিটার পর্যন্ত এবং কম্পাঙ্ক 600 kilo-cycles হইতে 30 megacycles/sec পর্যন্ত হইতে পারে।

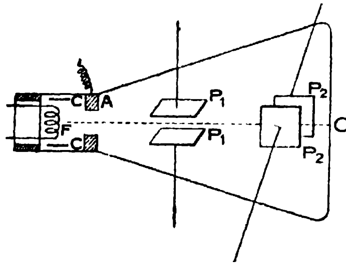
পূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে যে বাহক-তরঙ্গ কোন সংকেত বা কথা বহন করে না। বেতার অনুষ্ঠানের প্রতিভূস্বরূপ শ্রাব্য-কম্পাঙ্কের তরঙ্গ—ইহাকে অনেক সময় বলা হয় **বাক্-তরঙ্গ** (speech wave)—বাহক-তরঙ্গের উপর চাপানো হয়। এই পদ্ধতিকে বলা হয় **মডিউলেশান** (modulation) বা **অভিশ্রুতি**। অভিশ্রুত বাহক-তরঙ্গকে (modulated carrier waves) তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের আকারে এ্যানটেনা ইথার মাধ্যমে ছড়াইয়া দেয়। অভিশ্রুত তরঙ্গ [চিত্র 2·7(ii)] মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলোকের গতিবেগে দূর-দূরান্তে ধাবিত হয় এবং কোন গ্রাহক স্টেশনের এ্যারিয়ালে (aerial) বা আকাশ-তারে পৌঁছাইলে ঐ গ্রাহক-স্টেশন তখন ঐ অনুষ্ঠানের পুনরাবৃত্তি ঘটায়।

(ii) **গ্রহণ পদ্ধতি** (Receiving system) ঃ আকাশপথে আগত বেতার-তরঙ্গ গ্রহণ ও প্রচারের জন্য গ্রাহক যন্ত্রের প্রয়োজন। 2·8 নং চিত্রে একটি সরল বেতার-গ্রাহক যন্ত্রের নক্‌শা দেখানো হইয়াছে। গ্রাহক যন্ত্রের এ্যারিয়াল বা আকাশ-তারে বেতার-তরঙ্গ পৌঁছাইলে, L_1 আবেশক-এ উচ্চ কম্পাঙ্কের স্পন্দন সৃষ্টি হয় এবং L-C বর্তনীর সাহায্যে ঐ স্পন্দন ট্রায়োডের গ্রীড-বর্তনীতে আরোপিত হয়। আগতভি অশ্রুত বাহক-তরঙ্গ হইতে ট্রায়োড বাক্-তরঙ্গকে পৃথক করিয়া লয় এবং ঐ বাক্-তরঙ্গ প্লেট-বর্তনীর হেড-ফোনে পৌঁছাইয়া মূল-কথিকা বা সঙ্গীতের পুনরাবৃত্তি করে।



চিত্র 2·8

2·6 **ক্যাথোড-রশ্মি অসিলোগ্রাফ** (Cathode ray oscillograph) ঃ কোন ক্ষণস্থায়ী ঘটনা পর্যবেক্ষণ বা পর্যালোচনা করার পক্ষে অসিলোগ্রাফ একটি সুবেদী যন্ত্র। এই যন্ত্রে ইলেকট্রন-প্রবাহকে কাজে লাগানো হয়। ইলেকট্রন তড়িৎগ্রস্ত কণা হওয়ায়, বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্র ইহাকে বিক্ষিপ্ত করে। তাছাড়া, ইলেকট্রন কোন প্রতিপ্রভ পর্দায় পড়িলে প্রতিপ্রভ সৃষ্টি করে। এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশ থাকে (চিত্র 2·9) ঃ



চিত্র 2·9

(i) টাংস্টেন বা প্লাটিনামের তৈরী একটি সরু ফিলামেন্ট F ; ফিলামেন্ট দিয়া তড়িৎ প্রবাহ গেলে, ইহা উত্তপ্ত হয় এবং তখন ইহা হইতে ইলেকট্রন কণিকা নির্গত হয়।

(ii) C একটি চোঙ। ইহাকে গ্রিড বলা হয়। ইহা ফিলামেন্টকে আবৃত করিয়া রাখে এবং ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ইহাকে ঋণাত্মক বিভবে রাখা হয়। ইহার ফলে ফিলামেন্ট নিঃসৃত ইলেকট্রন স্রোত সূক্ষ্ম রশ্মির আকার পায়।

(iii) A একটি চাকতি এবং ইহার মধ্যস্থলে একটি ক্ষুদ্র ছিদ্র আছে। ফিলামেন্টের সাপেক্ষে এই চাকতিকে ধনাত্মক বিভবে রাখা হয় বলিয়া ইহাকে অ্যানোড বলে।

(iv) P_1, P_1 দুইটি অনুভূমিক প্লেট। ইহাদের সাহায্যে উল্লম্ব তলে তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করা যাইতে পারে। ইহাদের অনেক সময় Y-প্লেটও বলা হয়।

(v) P_2, P_2 আর দুইটি উল্লম্ব প্লেট। ইহাদের সাহায্যে অনুভূমিক তলে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রয়োগ করা যাইতে পারে। এইজন্য অনেক সময় ইহাদের X-প্লেটও বলা হয়।

(vi) O একটি প্রতিপ্রভ পর্দা। ইহার উপর ইলেকট্রন আসিয়া পড়িলে প্রতিপ্রভার সৃষ্টি হইবে।

কার্যপদ্ধতি ঃ অ্যানোড এবং ফিলামেন্টের ভিতর যে বিভব-প্রভেদ বর্তমান তাহার ফলে ফিলামেন্ট নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলি অ্যানোডের ছিদ্র দিয়া একটি নির্দিষ্ট বেগে সূক্ষ্ম রশ্মির আকারে বাহির হইয়া আসিবে। X এবং Y প্লেটে কোন বিভব-প্রভেদ না থাকিলে, ইলেকট্রন রশ্মি সোজাপথে গিয়া পর্দার উপর O বিন্দুতে পড়িবে এবং ঐস্থলে একটি আলোকবিন্দুর সৃষ্টি করিবে। এখন শুধু Y-প্লেটে পরিবর্তী বিভব-প্রভেদ (alternating p.d.) প্রয়োগ করিলে, রশ্মি Y-অভিমুখে প্রসারিত হইবে এবং পর্দার উপর আলোকবিন্দু একটি উল্লম্ব রেখা উৎপন্ন করিবে। তেমনি, শুধু X-প্লেটে পরিবর্তী বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে, রশ্মি X-অভিমুখে প্রসারিত হইবে এবং সেক্ষেত্রে পর্দার উপর একটি অনুভূমিক রেখা দেখা যাইবে। যদি একই সঙ্গে X এবং Y প্লেটে পরিবর্তী বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হয়, তাহা হইলে ইলেকট্রন রশ্মি লব্ধ-গতি পাইবে এবং পর্দায় তাহার চিত্র দেখা যাইবে।

অ্যাসিলোগ্রাফের নানারকম ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে। বৈজ্ঞানিক গবেষণা কাজে, রেডিও, টেলিভিসান প্রভৃতি মেরামতের দোকানে অ্যাসিলোগ্রাফ প্রায়ই দেখিতে পাওয়া যায়। ইহার প্রধান কাজ হইল উচ্চ এবং নিম্ন কম্পাঙ্কের পরিবর্তনশীল বিভব-প্রভেদ বিশ্লেষণ করা।

2·7 **রেডার** (Radar) ঃ ইংরাজীতে 'radar' কথাটি তৈয়ারী হইয়াছে Radio Detection and Ranging' এই কথার আদ্যাক্ষরগুলি লইয়া। অতি উচ্চ কম্পাঙ্কের বেতার-তরঙ্গের সাহায্যে জাহাজ, বিমান প্রভৃতির অবস্থান নির্ণয়, উহারা কোন্ দিকে কত বেগে যাইতেছে তাহা নির্ধারণ প্রভৃতি কাজে রেডার ব্যবহৃত হয়। গত মহাযুদ্ধের সময় রেডারের উদ্ভাবন ও উন্নয়ন হয়।

শব্দের প্রতিধ্বনিকে কাজে লাগাইয়া যেমন আমরা বিমান বা জাহাজের অবস্থিতি নির্ণয় করিতে পারি, তেমনি রেডারে অতি উচ্চ কম্পাঙ্কের তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের প্রতিফলন দ্বারা বিমান প্রভৃতির অবস্থান নির্ণয় করা যায়। এই ব্যবস্থায় একটি প্রেরক (transmitter), একটি গ্রাহক (receiver) এবং একটি সূচক (indicator) থাকে। প্রেরক যন্ত্র হইতে অতি উচ্চ কম্পাঙ্কের (ইহাদের বলা হয় V.H.F.) বেতার তরঙ্গ আকাশে ছাড়া হয়। একটানা তরঙ্গের পরিবর্তে, ছাড়া ছাড়া কতকগুলি তরঙ্গগুচ্ছ একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর ছাড়া হয়। এই তরঙ্গ-গুচ্ছের কম্পাঙ্ক 3×10^8 হইতে 3×10^{10} প্রতি সেকেণ্ড এবং ক্ষমতা প্রায় 10^4 ওয়াট। কম্পাঙ্ক খুব উচ্চ হওয়ায়, এই তরঙ্গগুচ্ছগুলি সূক্ষ্ম রশ্মির আকারে সরল রেখায় চলাচল করে এবং কোন কঠিন পদার্থে আঘাত পাইয়া আলোকরশ্মির মত প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে। প্রতিফলিত তরঙ্গের যে-অংশ রেডার স্টেশনে ফিরিয়া আসে গ্রাহক যন্ত্র তাহাকে বিবর্ধিত করে এবং পরে সূচক-যন্ত্রের অর্থাৎ অসিলোস্কোপের পর্দায় ঐ বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই গ্রাহকযন্ত্র এতই স্বয়ং-সম্পূর্ণ যে অসিলোস্কোপের পর্দায় প্রতিফলিত চিত্র দেখিয়া দূরাগত বিমান, জাহাজ প্রভৃতির দূরত্ব গতির অভিমুখ এবং আপেক্ষিক গতিবেগ সব কিছু জানা যায়।

গত মহাযুদ্ধে রেডারের উদ্ভাবন হইয়াছিল বলিয়া ঐ সময় শুধু যুদ্ধের কাজেই ইহাকে নিয়োগ করা হইয়াছিল। কিন্তু পরবর্তীকালে নানারূপ কল্যাণকর কার্যে রেডারের প্রয়োগ দেখা গিয়াছে। নিম্নে ইহার কিছু কিছু প্রয়োগের কথা সংক্ষেপে বলা হইল ঃ

(i) রেডারের সাহায্যে বিমান চালনা বা জাহাজ চালনা সম্পূর্ণ নিরাপদ হইয়াছে। কুয়াসা, মেঘ, বৃষ্টি প্রভৃতি উচ্চ কম্পাঙ্কের তরঙ্গকে প্রতিহত করিতে পারে না বলিয়া, দুর্যোগপূর্ণ আবহাওয়ায় বিমান বা জাহাজকে নিরাপদে বন্দরে পৌঁছাইতে রেডার সাহায্য করে। এই কারণে আজকাল প্রত্যেক বিমান বন্দরে বা বড় জাহাজ বন্দরে রেডার স্টেশন দেখিতে পাওয়া যায়।

(ii) আবহাওয়া অফিসে রেডার নানারকম কাজে ব্যবহৃত হয়। বৃষ্টির ফোঁটা বিশেষ ধরণের রেডার সংকেতকে প্রতিফলিত করে। এই ধরণের সংকেতের সাহায্যে মেঘের দূরত্ব নির্ণয় করিয়া আবহাওয়া অফিস আবহাওয়া সম্বন্ধে পূর্বাভাস দিয়া থাকে।

(iii) ভূগর্ভস্থিত ধাতু, তেল, খনিজপদার্থ প্রভৃতি আবিষ্কারে রেডার ব্যবহৃত হয়।

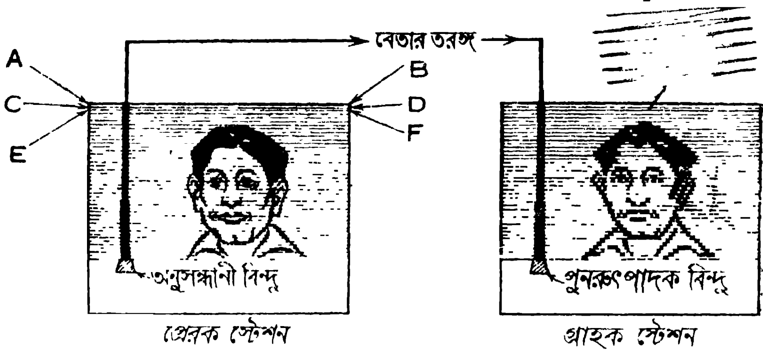
(iv) বৈজ্ঞানিক গবেষণায় নিম্ন তাপমাত্রা পরিমাপে, নভোবস্তু হইতে বিকীর্ণ রশ্মি বিশ্লেষণে, আয়নমণ্ডলের উচ্চতা নির্ধারণে রেডারের প্রয়োগ আছে।

2·8 **টেলিভিসান** (Television) ঃ বেতারের সাহায্যে আমরা দূরবর্তী কোন স্থানে অনুষ্ঠিত সঙ্গীত, কথিকা ইত্যাদি শুনিতে পাই। কিন্তু টেলিভিসানের মারফৎ আমরা ঐ সকল অনুষ্ঠান শুধু যে শুনিতে পাই তাহা নয়—অনুষ্ঠানগুলি সঙ্গে সঙ্গে দেখিতেও পাই। বলা বাহুল্য, টেলিভিসান আধুনিক বিজ্ঞানের এক অভিনব আবিষ্কার।

সমগ্র পদ্ধতিকে তিনভাগে ভাগ করা যায় ঃ—(i) যে চিত্র টেলিভিসানে দেখাইতে হইবে তাহাকে 'স্ক্যান' (scan) করা—অর্থাৎ সমগ্র চিত্রকে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে ভাগ করিয়া প্রত্যেক অংশের উপর দিয়া একটি সরু এবং তীব্র ইলেকট্রন রশ্মিকে বার বার দক্ষিণে এবং বামে (back and forth) দ্রুতগতিতে চালনা করা। এই কাজ যে-যন্ত্রের সাহায্যে করা হয় তাহাকে বলে, 'আইকনোস্কোপ' (iconoscope)। (ii) স্ক্যান করা চিত্র হইতে প্রাপ্ত আলোকশক্তিকে ফটো সেলের (পরবর্তী পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) সাহায্যে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করা। (iii) গ্রাহক প্রান্তে ঐ তড়িৎশক্তিকে পুনরায় আলোকশক্তিতে রূপান্তরিত করিয়া বিশেষ ধরণের পর্দায় ছবি তৈয়ারী করা। এই কাজ যে যন্ত্রের সাহায্যে করা হয় তাহাকে বলা হয় 'কিনেস্কোপ' (kinescope)।

যেস্থান হইতে টেলিভিসান অনুষ্ঠান প্রেরণ করা হয় সেইখানে 'আইকনোস্কোপ' রাখা হয়। ইহা আর কিছুই নয়—পূর্ববর্ণিত ক্যাথোড রশ্মি অসিলোগ্রাফ ও ফটো-সেলের সমন্বয়। ইহা একটি সরু ও তীব্র ইলেকট্রন রশ্মি উৎপন্ন করে যাহাকে 'অনুসন্ধানী বিন্দু' (exploring spot) বলা হয়। যে ছবি টেলিভিসান মারফৎ পাঠাইতে হইবে তাহার সর্বোচ্চ বিন্দু হইতে সুরু করিয়া একবার দক্ষিণে এবং একবার বামে এইভাবে সরলরেখা বরাবর অনুসন্ধানী বিন্দু ছবিটিকে 'স্ক্যান' করে। বিন্দু A হইতে B-তে গিয়া পুনরায় C হইতে D, তারপর E হইতে F এইভাবে সরল রেখা বরাবর সমগ্র ছবিকে 'স্ক্যান' করে [চিত্র 2·10]। চিত্রের সর্বশেষ দক্ষিণ-

প্রান্তের বিন্দুতে পৌঁছিয়া 'অনুসন্ধানী বিন্দু' এক লাফে বামপ্রান্তে পৌঁছায় এবং পরের লাইন বরাবর আবার দক্ষিণ দিকে যাত্রা সুরু করে।



চিত্র 2·10

আইকনোস্কোপে 'অনুসন্ধানী বিন্দু' এমনভাবে তৈরী করা হয় যে, চিত্রের যে স্থানে যেমন ঔজ্জ্বল্য সেই অনুপাতে উহা তড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন করে। এই ধরনের পরিবর্তী প্রবাহকে বলা হয়, 'ভিডিও সংকেত' (video signal)। এই ভিডিও সংকেতকে বেতার তরঙ্গের মাধ্যমে আকাশপথে প্রেরণ করা হয়। গ্রাহকযন্ত্রে এই ভিডিও সংকেত ধরা পড়িলে, কিনেস্কোপ যন্ত্র একটি পুনরুৎপাদক বিন্দু (reproducing spot) তৈয়ারী করে যাহা একটি বিশেষ ধরণের পর্দার উপরে অনুসন্ধানী বিন্দুর মত সরল রেখা বরাবর দক্ষিণে ও বামে চলাচল করিয়া ছবি তৈয়ারী করে। বলা বাহুল্য, পুনরুৎপাদক বিন্দুর ঔজ্জ্বল্য ভিডিও সংকেতের বিস্তারের (amplitude) সমানুপাতিক।

একথা সহজেই বোঝা যায় যে অনুসন্ধানী বিন্দু এবং পুনরুৎপাদক বিন্দু যত ছোট হইবে এবং উহাদের চলাচলের রেখার সংখ্যা যত বেশী হইবে গ্রাহকযন্ত্রের পর্দায় ছবি তত স্পষ্ট ও নিখুঁত হইবে।

টেলিভিসান গ্রাহক যন্ত্র—অর্থাৎ কিনেস্কোপ অনেকটা সাধারণ বেতার গ্রাহক যন্ত্রের মত কাজ করে। প্রেরক স্টেশন হইতে আগত বাহক তরঙ্গকে ইহা গ্রহণ করে এবং সাধারণ পদ্ধতিতেই বিবর্ধন করে। পরে, ইহা ভিডিও সংকেতকে লাউডস্পীকারের পরিবর্তে কিনেস্কোপ যন্ত্রে পাঠায়। এই কিনোস্কোপ যন্ত্রটিও পরিবর্ধিত ক্যাথোডরশ্মি অসিলোগ্রাফ। ইহার পর্দায় ছবি ফুটিয়া উঠে।

Exercises

1. ডায়োড এবং ট্রায়োড কাহাকে বলে? ইহাদের কি কাজে ব্যবহার করা হয়?
2. বেতার সম্প্রচার ও গ্রহণ সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত নোট লেখ।
3. 'রেডার' কাহাকে বলে? ইহা কোন্ কোন্ কথা লইয়া তৈয়ারী হইয়াছে? ইহার ব্যবহার কি?
4. 'স্ক্যানিং' কাহাকে বলে? ভিডিও সংকেত কি? টেলিভিসন সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত নোট লেখ।

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

আলোক-তড়িৎ
(Photo-electricity)

3·1. **আলোক তড়িতের আবিষ্কার** (Discovery of photo-electricity) **:** ধাতব বস্তুর পৃষ্ঠে যথোপযুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেলিলে দেখা যায় যে, যতক্ষণ আলো পড়িতেছে ততক্ষণ ঐ পৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসৃত হইতেছে। এই ঘটনাকে বলা হয় **আলোক-তড়িৎ** (photo-electricity)।

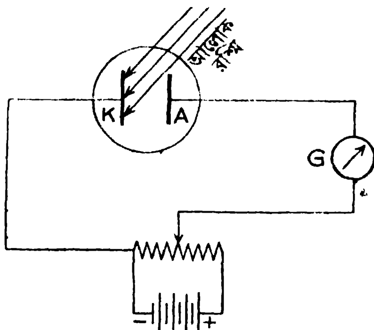
এই ঘটনা প্রথম লক্ষ্য করেন জার্মান বিজ্ঞানী হার্ৎস 1887 খ্রীষ্টাব্দে। তিনি দুইটি তড়িৎ-দ্বারের ভিতর স্ফুলিঙ্গ (spark) সৃষ্টি করিয়া তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ উৎপন্ন করিতেছিলেন। তিনি লক্ষ্য করেন যে, তড়িৎ-দ্বারের উপর অতি-বেগুনী আলো পড়িলে সহজে দীর্ঘ স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হয়। তিনি, অবশ্য, এবিষয়ে আর অগ্রসর হন নাই। কিন্তু পরের বছর—অর্থাৎ 1888 খ্রীষ্টাব্দে হলওয়াক, এলষ্টার, এবং গাইটেল—এই তিনজন বিজ্ঞানী এই সম্বন্ধে কিছু পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন। একটি বায়ুশূন্য কোয়ার্টজ নলে দুইটি দস্তার প্লেট ঢুকাইয়া একটিকে ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরুর সহিত এবং অপরটিকে ঋণাত্মক মেরুর সহিত যুক্ত করেন এবং দেখেন যে ঋণাত্মক প্লেটটিতে অতিবেগুনী আলো ফেলিলে বর্তনী দিয়া একটি তড়িৎ-প্রবাহ যাইতেছে কিন্তু ধনাত্মক প্লেটে আলো ফেলিলে ঐরূপ কোন প্রবাহ পাওয়া যাইতেছে না। তাছাড়া, তাঁহারা ইহাও লক্ষ্য করেন যে, যে-মুহূর্তে আলো পড়ে সেই মুহূর্তে প্রবাহ সুরু হয় এবং আলো বন্ধ করা মাত্র প্রবাহও বন্ধ হয়।

1900 খ্রীষ্টাব্দে লেনার্ড প্রমাণ করেন যে, ধাতবপৃষ্ঠে অতি বেগুনী আলো পড়িলে, ঐ পৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রনের নিঃসরণ হইয়া উপরোক্ত প্রবাহ সৃষ্টি করে। আলোর সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হইতেছে বলিয়া এই ঘটনাকে বলা হয় আলোক-তড়িৎ, ইলেকট্রনগুলিকে আলোকজ ইলেকট্রন (photo-electrons) এবং প্রবাহকে বলা হয় আলোক-তড়িৎ প্রবাহ (photo-electric current)।

লিথিয়াম, সোডিয়াম, পটাসিয়াম প্রভৃতি ক্ষারধাতুগুলি আলোক-তড়িৎ সম্পর্কে খুবই সংবেদনশীল। ইহাদের উপর সাধারণ দৃশ্যমান আলো (visible light) পড়িলেই আলোকজ ইলেকট্রন নির্গত হয়। বর্তমানে দেখা যায় যে, উপযুক্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করিলে (গ্যামারশ্মি, এক্সরশ্মি, অথবা অতি বেগুনী রশ্মি) সব ধাতুই আলোক তড়িৎ ঘটনা প্রদর্শন করে।

3·2. **আলোক-তড়িৎ সম্পর্কে পরীক্ষামূলক পর্যালোচনা** (Experimental study of photo-electricity) **:** আলোকতড়িৎ সম্পর্কে পরীক্ষামূলক পর্যালোচনা করিতে হইলে পরপৃষ্ঠায় 3·1 নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা অবলম্বন করা যাইতে পারে। K এবং A দুইটি

ধাতব প্লেট বায়ুশূন্য কোয়ার্টজ কুণ্ডে ঢুকানো আছে। একটি ব্যাটারী এবং রোধকের সাহায্যে K এবং A প্লেটের ভিতর বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হয়। K প্লেট ঋণাত্মক বিভব এবং A প্লেট ধনাত্মক বিভব পায়। ঐ বিভব-প্রভেদ ইচ্ছামত বাড়ানো-কমানো—এমন কি উল্টামুখীও করা যায়। বর্তনীর সহিত একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার G যুক্ত আছে।



চিত্র 3·

K প্লেটে ক্ষারধাতুর প্রলেপ লাগাইয়া উহার উপর আলো ফেলিলে গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ হইবে—অর্থাৎ বর্তনী দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে। বিভব-প্রভেদ একটু একটু করিয়া বাড়াইলে প্রবাহমাত্রাও একটু একটু করিয়া বাড়িবে এবং অবশেষে প্রবাহ-মাত্রা স্থির হইবে। পক্ষান্তরে, যদি K প্লেটকে অল্প ধনাত্মক বিভব এবং A প্লেটকে ঋণাত্মক বিভব দেওয়া যায় এবং উপযুক্ত তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো K প্লেটে আপতিত হয় তবে নির্গত ইলেকট্রনগুলির মধ্যে যেগুলি ধীর গতি-সম্পন্ন তাহারা A প্লেটে দ্বারা বিকর্ষিত হইবে এবং A প্লেটে পৌঁছাইতে পারিবে না। এইবার K প্লেটের ধনাত্মক বিভব অথবা A প্লেটের ঋণাত্মক বিভব ধীরে ধীরে বৃদ্ধি করিলে আলোক তড়িৎ-প্রবাহ ধীরে ধীরে হ্রাস পাইবে এবং K প্লেটের একটি বিশেষ ধনাত্মক বিভবে প্রবাহ শূন্য হইবে। উক্ত ধনাত্মক বিভবকে ঐ ধাতুর **নিবৃত্তি বিভব** (stopping potential) বলা হয়। বলা বাহুল্য, নিবৃত্তি বিভবে সর্বাপেক্ষা দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রনও A প্লেটে পৌঁছাইতে সক্ষম হইবে না। এখন, K প্লেটকে ঋণাত্মক এবং A প্লেটকে ধনাত্মক বিভব দিয়া একই তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের কিন্তু ক্রমবর্ধমান তীব্রতার আলো K প্লেটে ফেলিলে, নিবৃত্তি বিভব অপরিবর্তিতই থাকে কিন্তু আলোক-তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়। অতএব, বলা যায়, আলোর তীব্রতা বৃদ্ধি করিলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায় কিন্তু আলোকজ ইলেকট্রনের নির্গমন বেগ বৃদ্ধি পায় না।

আবার, আলোর তীব্রতা অপরিবর্তিত রাখিয়া যদি আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক ক্রমশ বৃদ্ধি করা যায়, তাহা হইলে নিবৃত্তি বিভবও ক্রমশ বৃদ্ধি পায়—অর্থাৎ আলোকজ ইলেকট্রনগুলি বেশী গতিবেগ লইয়া নির্গত হয়। আবার, কম্পাঙ্ক হ্রাস করিতে থাকিলে দেখা যায় যে, তীব্রতা যাহাই হউক না কেন, একটি নিম্নতম কম্পাঙ্কে ঐ ধাতু কোন ইলেকট্রনই নির্গত করে না। ঐ ধাতুর বেলায় উক্ত কম্পাঙ্ককে **প্রারম্ভ-কম্পাঙ্ক** (threshold frequency) বলা হয়। বিভিন্ন ধাতুর বেলায়, অবশ্য, প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের মান বিভিন্ন।

উপরোক্ত পরীক্ষা হইতে আলোক তড়িৎ ঘটনার নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করা যায়ঃ

(i) আলোক-তড়িৎ প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক।

(ii) আলোকজ ইলেকট্রনগুলির প্রাথমিক গতিবেগ (initial velocity) তথা গতিশক্তি আপতিত আলোর তীব্রতার উপর নির্ভরশীল নহে কিন্তু কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল। কম্পাঙ্ক

বৃদ্ধি পাইলে (অর্থাৎ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য হ্রাস পাইলে) ইলেকট্রনগুলির গতিবেগ বা গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়; কম্পাঙ্ক কমিলে (অর্থাৎ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পাইলে) ইলেকট্রনগুলির গতিবেগ বা গতিশক্তি হ্রাস পায়।

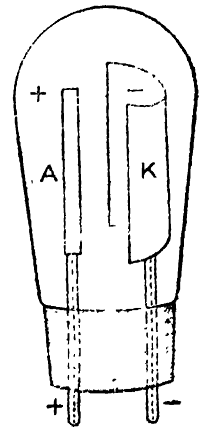
(iii) প্রতি ধাতুর বেলায় একটি নিম্নতম কম্পাঙ্ক আছে যাহার কম কম্পাঙ্কবিশিষ্ট কোন আলো ঐ ধাতু হইতে ইলেকট্রন নির্গত করিতে পারিবে না। ইহাকে ঐ ধাতুর প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বলে। বিভিন্ন ধাতুর বেলায় ইহার মান বিভিন্ন।

(iv) আলোক-তড়িৎ ঘটনা একটি তাৎক্ষণিক (instantaneous) ঘটনা অর্থাৎ আলো আপতিত হইবার সঙ্গে সঙ্গে ইলেকট্রনের নিঃসরণ সুরু হয়। আবার, আলো বন্ধ হইবামাত্র নিঃসরণও বন্ধ হয়।

(v) নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলোর বেলায় ইলেকট্রনগুলি যে প্রাথমিক গতিবেগ লইয়া নির্গত হয় তাহা শূন্য হইতে একটি সর্বোচ্চ মান পর্যন্ত বিভিন্ন মান পায়।

3·3 **আলোক-তাড়িৎ কোষ** (Photo-electric cells) : (আলোক-তড়িৎ ঘটনাকে অবলম্বন করিয়া আলোকশক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করিবার ব্যবস্থাকে আলোকতাড়িত কোষ বলা হয়।) এই কোষ নানারকম হইতে পারে—যথা (i) বায়ুশূন্য আলোক নিঃসরণ কোষ (photo-emission cell) (ii) গ্যাসভর্তি আলোক নিঃসরণ কোষ (gas-filled photo emission cell) (iii) আলোক ভোল্টীয় কোষ (photo voltaic cell) ইত্যাদি।

(i) **বায়ুশূন্য আলোক নিঃসরণ কোষ** : ইহা কোয়ার্টজ অথবা কাচের তৈরী একটি বায়ুশূন্য বাল্ব (চিত্র 3·2)। অতি বেগুনী আলো ব্যবহার করিলে কেয়ার্টজ বাল্ব এবং দৃশ্যমান আলো ব্যবহার করিলে কাচের বাল্ব লইতে হইবে। ইহার ভিতর বৃহৎ ক্ষেত্রফলযুক্ত অর্ধ-চোঙাকৃতি একটি প্লেট (K) থাকে। ইহা কোষের ক্যাথোড। অ্যানোড হিসাবে একটি ঋজু তার অথবা তারের ফ্রেম (A) লওয়া হয়। দৃশ্যমান আলো ব্যবহার করিলে ক্যাথোড প্লেটে সোডিয়াম, পটাসিয়াম অথবা সিজিয়ামের প্রলেপ দিয়া লইতে হয় কারণ ঐ ক্ষার ধাতুগুলি সাধারণ দৃশ্যমান আলোর সাপেক্ষে আলোক-তড়িৎ সংবেদনশীল। প্রচুর পরিমাণ ইলেকট্রন পাইবার জন্য আজকাল ক্যাথোড হিসাবে মিশ্র পদার্থ ব্যবহার করা হয়। এই মিশ্র পদার্থ নানারকমের হইতে পারে। যেমন, সিলভার অক্সাইডের উপর সিজিয়াম প্রলেপ, অ্যান্টিমনি-সিজিয়াম সংকর ধাতু এবং অতি সাম্প্রতিক কালে উদ্ভাবিত বিসমাথ, সিলভার, অক্সিজেন এবং সিজিয়ামের মিশ্রণ। সর্বশেষ মিশ্রণটি দৃশ্যমান আলোর বেলাতে খুবই সংবেদনশীল।



চিত্র 3·2

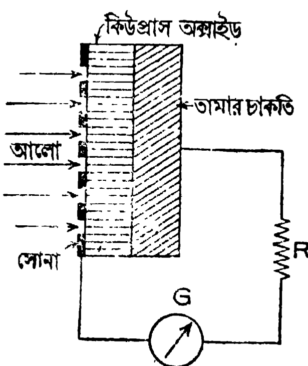
সাধারণ ক্ষেত্রে আলোক-তাড়িৎ প্রবাহ খুব ক্ষীণ—কয়েক মাইক্রো-অ্যাম্পীয়ার মাত্র। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে কাজে লাগাইতে গেলে এই প্রবাহমাত্রার বিবর্ধন প্রয়োজন। এই উদ্দেশ্যে আলোক-তাড়িৎ কোষের সহিত ভাল্ভ বিবর্ধক (valve amplifier) যুক্ত করা হয়।

(ii) **গ্যাসভর্তি আলোক-তাড়িৎ কোষ** (Gas-filled photo electric cell) : আলোক-তাড়িৎ কোষ হইতে প্রাপ্ত প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি করিবার জন্য অনেক সময় গ্যাসভর্তি কোষ ব্যবহার করা হয়। এই কোষের বাল্‌বটি নিম্নচাপে (কয়েক মিলিমিটার পারদ) নিয়ন, আর্গন, প্রভৃতি নিষ্ক্রিয় গ্যাস দ্বারা পূর্ণ থাকে। অ্যানোড ও ক্যাথোডের ভিতর বিভব প্রভেদ বৃদ্ধি করিলে, ক্যাথোড হইতে নির্গত আলোকজ ইলেকট্রনগুলি প্রচণ্ড গতিবেগে অ্যানোডের দিকে ধাবিত হয় এবং গ্যাসের অণু-পরমাণুর সহিত সংঘাত সৃষ্টি করিয়া আয়নয়ন (Ionisation) ঘটায়। তখন অকস্মাৎ প্রচুর পরিমাণ ইলেকট্রন তৈরী হয় এবং প্রবাহমাত্রাও যথেষ্ট বৃদ্ধি পায়।

বায়ুশূন্য কোষ হইতে প্রাপ্ত আলোক-তাড়িৎ প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোর তীব্রতার সহিত ঠিক সমানুপাতিক কিন্তু গ্যাসভর্তি কোষ হইতে প্রাপ্ত প্রবাহমাত্রা ঠিক ঐরূপ সমানুপাতিক সম্পর্ক মানিয়া চলে না। এই কারণে প্রমিতকরণ (standardisation) বা পরিমাণমূলক কাজে বায়ুশূন্য কোষ ব্যবহৃত হয় এবং অন্যান্য কাজে গ্যাসভর্তি কোষ ব্যবহার করা হয়।

(iii) **আলোক-ভোল্টীয় কোষ** (Photo voltaic cell) : আলোক নিঃসরণ কোষের বেলায় অ্যানোড এবং ক্যাথোডের ভিতর একটি বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিতে হয় কারণ ঐ বিভব প্রভেদই ইলেকট্রনকে অ্যানোডের দিকে চালিত করে। বর্তনীতে, তখন, প্রবাহ চালু হয়। বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিবার জন্য ঐ কোষের সহিত একটি ব্যাটারী যুক্ত করিতে হয়। কিন্তু আলোক-ভোল্টীয় কোষে ঐ ধরনের কোন সহায়ক কোষের প্রয়োজন হয় না। ধাতবপৃষ্ঠ হইতে মুক্ত আলোকজ ইলেকট্রনগুলিই এক্ষেত্রে দুই প্লেটের ভিতর বিভব-প্রভেদ সৃষ্টি করে এবং ঐ বিভব-প্রভেদ বহির্বর্তনীতে প্রবাহ পাঠায়।

এই কোষ গঠিত হয় তামার একখানি চাকতির একপৃষ্ঠে জারক-পদ্ধতিতে কিউপ্রাস অক্সাইডের একটি পাতলা স্তর (film) গঠন করিয়া (চিত্র 3·3))। চাকতির যে পৃষ্ঠে কিউপ্রাস অক্সাইড স্তর আছে তাহার উপর আবার খুব পাতলা সোনা বা রূপার প্রলেপ থাকে। আলো ঐ পাতলা প্রলেপ ভেদ করিয়া অক্সাইড স্তরের উপর পড়িলে, ঐ স্তর হইতে আলোকজ ইলেকট্রন নির্গত হয়। কিন্তু এই ইলেকট্রনগুলি চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ু মাধ্যমে নির্গত হয় না—ইহারা সোনা বা রূপার-প্রলেপের দিকে চলিয়া আসে। ফলে, ঐ প্রলেপ ও তামার চাকতির ভিতর একটি বিভব প্রভেদের সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে প্রলেপ ঋণাত্মক বিভব এবং চাকতি ধনাত্মক বিভব পায়। ঐ দুইটির ভিতর গ্যালভ্যানোমিটার G সহ একটি বহির্বর্তনী R অন্তর্ভুক্ত করিলে বর্তনী দিয়া একটি ক্ষীণ প্রবাহ যাইবে এবং গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যাইবে। বলা বাহুল্য, এই প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক।



চিত্র 3·3

আলোর তীব্রতা মাপক (light meters) যন্ত্র হিসাবে এবং একমুখীকারক (rectifier) হিসাবে আলোক ভোল্টীয় কোষের খুব ব্যবহার আছে।

3·4 **আলোক-তাড়িৎ কোষের ব্যবহারিক প্রয়োগ** (Practical applications of photo electric cells) ঃ ব্যবহারিক ক্ষেত্রে আলোক-তাড়িৎ কোষকে বহুবিধ কাজে লাগানো হয়। নিম্নে ইহার কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রয়োগের কথা উল্লেখ করা হইল ঃ—

(ক) **ফটোমিতি সম্পর্কিত পরিমাপে** (Photometric measurement) ঃ সরাসরি দীপনশক্তি (luminous intensity) পরিমাপে অথবা দুইটি আলোক-উৎসের দীপনশক্তির তুলনামূলক বিচারে এই কোষ প্রযুক্ত হয়। তখন ইহাকে বলা হয় প্রত্যক্ষ পঠন (direct reading) ফটোমিটার।

(খ) **আলোক-তাড়িৎ নিয়ন্ত্রকরূপে** (Photoelectric control) ঃ আলোক-তাড়িৎ কোষ হইতে প্রাপ্ত তড়িৎপ্রবাহের সাহায্যে একটি রিলে-কে (relay) কাজ করাইয়া বহুরকম নিয়ন্ত্রণমূলক কার্য সম্পন্ন করা যাইতে পারে ; যেমন, স্বয়ংক্রিয় গণক যন্ত্র, তস্কর-সতর্কতামূলক যন্ত্র অগ্নি সংকেত যন্ত্র, স্বয়ংক্রিয়ভাবে বাতি জ্বালানো বা নিভানো, কুয়াসাচ্ছন্ন দিনে ট্রেনের স্বয়ংক্রিয় সংকেত-আলো প্রভৃতি নিয়ন্ত্রণে এই কোষ ব্যবহৃত হয়।

(গ) **সবাক চলচ্চিত্রে** (Talking films) ঃ সবাক চলচ্চিত্রে শব্দ গ্রহণ ও পুনরুৎপাদনের কাজে আজকাল আলোক-তাড়িৎ কোষ ব্যবহৃত হইতেছে।

(ঘ) **টেলিভিসানে** (Television) ঃ টেলিভিসান প্রেরক যন্ত্রে—অর্থাৎ আইকনোস্কোপে —আলোক তাড়িৎ কোষ ব্যবহার করা হয়।

(ঙ) **বেলিনোগ্রাম পদ্ধতিতে** (Belinogram system) ঃ অতি অল্প সময়ে এক দেশ হইতে অন্য দেশে ছবি টেলিগ্রাম পদ্ধতির মারফৎ প্রেরণ করার পদ্ধতিকে বেলিনোগ্রাম বলে। ইহাতে আলোক-তাড়িৎ কোষ ব্যবহৃত হয়।

3·5. **বিকিরণের কণা প্রকৃতি ঃ কোয়ান্টাম তত্ত্ব** (Particle nature of radiation : Quantum theory) ঃ উপরোক্ত গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহারিক প্রয়োগ ছাড়া, আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনা আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের একটি অভিনব অবদানকে প্রতিষ্ঠিত করিয়াছে। এই অবদান হইতেছে বিকিরণ সম্পর্কিত কোয়ান্টাম তত্ত্ব।

এই তত্ত্ব প্রচারের পূর্বে প্রাচীন তরঙ্গ-তত্ত্ব অনুযায়ী মনে করা হইত যে, যখন এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে শক্তির হস্তান্তর হয় তখন উহা ধারাবাহিক পদ্ধতি (continuous process) অনুযায়ী হয় কারণ তরঙ্গগতি সর্বদা ধারাবাহিক—বিচ্ছিন্ন নয়। কিছু পরিমাণ তরলকে যেমন ধারাবাহিক ভাবে একস্থান হইতে অন্যস্থানে লওয়া যায় এবং উহা যেমন পরিমাপসাধ্য তেমনি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তিও পরিমাপসাধ্য এবং উহাকে ধারাবাহিকভাবে একস্থান হইতে অন্য স্থানে লওয়া যায়। কিন্তু একটি উত্তপ্ত কঠিন বস্তু হইতে তাপ বিকিরণ সম্পর্কিত ঘটনাবলী ব্যাখ্যা করিতে গিয়া বর্তমান শতাব্দীর প্রথমভাগে জার্মান বিজ্ঞানী ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক একটি অসাধারণ সিদ্ধান্তে উপনীত হইলেন। তিনি দেখিলেন যে বস্তু হইতে যখন শক্তি নির্গত হয় তখন তাহা নিরবচ্ছিন্ন ভাবে হয় না—বিচ্ছিন্নভাবে, এক একটি প্যাকেটরূপে নির্গত হয়। এই প্যাকেটগুলির তিনি নাম

দেন 'কোয়ান্টা'। এই কোয়ান্টাগুলির আকার সব সমান নয়—প্রত্যেক কোয়ান্টায় যে পরিমাণ শক্তি থাকে তাহা বিকিরণের কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক।

কোন উত্তপ্ত বস্তু হইতে বিকীর্ণ শক্তির (তাপ) কম্পাঙ্ক যদি ν হয় তবে ঐ শক্তির প্রত্যেক কোয়ান্টাতে যে পরিমাণ শক্তি থাকিবে তাহা $h\nu$-এর সমান। এক্ষেত্রে h একটি ধ্রুবক এবং ইহাকে বলা হয় **প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক** (Plank's constant)।

পরবর্তী কালে আইনস্টাইন আলোক-তাড়িৎ ঘটনাবলীর ব্যাখ্যা করিতে কোয়ান্টাম তত্ত্বের শরণাপন্ন হন কারণ প্রাচীন তরঙ্গ-তত্ত্ব প্রয়োগ করিতে গিয়া দেখা গেল যে ঐ তত্ত্ব আলোক তড়িৎ ঘটনাবলীর কোনটিকেই সন্তোষজনকরূপে ব্যাখ্যা করিতে পারিল না। কোয়ান্টাম তত্ত্বানুযায়ী যে-কোন বিকিরণ ঝাঁক ঝাঁক কোয়ান্টা বা ফোটোনের (photon)—আইনস্টাইন কোয়ান্টার সাধারণ নাম দেন ফোটোন—সমষ্টি; প্রতিটি ফোটোনের শক্তি $h\nu$ এবং ইহারা শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগে চলাচল করে। পদার্থখণ্ড যেমন অসংখ্য বিচ্ছিন্ন পরমাণু কণা দ্বারা গঠিত, যে কোন বিকিরণও তেমনি অসংখ্য বিচ্ছিন্ন ফোটন দ্বারা গঠিত। আইনস্টাইনের মতে যখন ঐরূপ একটি ফোটনের সহিত কোন ধাতব বস্তুর পরমাণুর সংঘাত হয়, তখন ঐ সংঘাত স্থিতিস্থাপক সংঘাতের রূপ নেয় এবং ইহাতে পরমাণু হয় ফোটনের সকল শক্তি শোষণ করিয়া লয় অথবা কোন শক্তিই শোষণ করে না। এইরূপ ধারণা করিয়া লইয়া আইনস্টাইন একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন যাহার সাহায্যে তিনি আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত সকল ঘটনার অতি সন্তোষজনক ব্যাখ্যা করেন এবং কোয়ান্টাম তত্ত্বকে সুপ্রতিষ্ঠিত করেন।

পরবর্তীকালে কিছু উপ-পারমাণবিক (sub-atomic) ঘটনাবলী আবিষ্কৃত হইল যাহার সুষ্ঠু ব্যাখ্যার জন্য বিজ্ঞানীরা কোয়ান্টাম তত্ত্বের আশ্রয় গ্রহণ করিয়াছিলেন। এইভাবে নানা ঘটনার ভিতর দিয়া ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক প্রবর্তিত কোয়ান্টাম তত্ত্ব সাধারণভাবে সকল প্রকার বিকিরণের বেলায় প্রযুক্ত হইল এবং আধুনিক বিজ্ঞানের একটি স্বীকৃত তত্ত্ব বলিয়া গণ্য হইল।

[কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুযায়ী কোন শক্তির বিকিরণ ঝাঁক ঝাঁক ফোটনের সমষ্টি বলিয়া মনে করা হয় এবং প্রত্যেকটি ফোটন $h\nu$ শক্তি লইয়া আলোকের বেগে ধাবমান হয় বলিয়া গণ্য করা হয়। কোন ফোটনের সহিত পরমাণুর সংঘাত হইলে, যদি ফোটনের সমস্ত শক্তি পরমাণুর ইলেকট্রন গ্রহণ করে তবে কোয়ান্টাম তত্ত্ব হইতে আইনস্টাইন নিম্নলিখিত সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন। $h\nu=\frac{1}{2}mv^2+\omega_0$; এখানে $\frac{1}{2}mv^2$=বিমুক্ত ফটো-ইলেকট্রনের গতিশক্তি, এবং ω_0=ধাতবপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রনকে মুক্ত করিবার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি। এই শক্তিকে বলা হয় **আলোকতড়িৎ কার্য অপেক্ষক** (photoelectric work function)। ইহা ধাতবপদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক ν ক্রমাগত হ্রাস করিলে, বিমুক্ত ফটো ইলেকট্রনের গতিশক্তি ক্রমশ হ্রাস পাইবে এবং একটি বিশেষ কম্পাঙ্কে (মনে কর ν_0) উহা শূন্য হইবে। তখন $h\nu_0=\omega_0$; ইহা অপেক্ষা কম কম্পাঙ্কের ফোটন আলোকতড়িৎ নিঃসরণে সক্ষম হইবে না। নিম্নতম এই কম্পাঙ্ককে বলা হয় **প্রারম্ভ-কম্পাঙ্ক** (threshold frequency)]।

Exercises

1. আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া কি? ইহা কিরূপে আবিষ্কৃত হইল?

2. আলোক-তড়িৎ নিঃসরণ সম্পর্কে প্রধান প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ কর। নিবৃত্তি বিভব ও প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক কাহাকে বলে?

3. আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত প্রধান প্রধান ঘটনাবলী প্রদর্শনের উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর।

4. আলোক-তাড়িৎ কোষ কয়প্রকার? উহাদের বিবরণ ও ব্যবহার সংক্ষেপে উল্লেখ কর।

5. কোয়ান্টাম তত্ত্ব সম্বন্ধে যাহা জান সংক্ষেপে লেখ। প্ল্যাঙ্ক-ধ্রুবক বলিতে কি বোঝ?

6. একটি বায়ুশূন্য কাচের কুণ্ডের ভিতর দুইটি ধাতব প্লেট আছে। একটি প্লেটের উপর অতি-বেগুনী আলো ফেলা হইল এবং অপর প্লেটের সাপেক্ষে উহাকে ধনাত্মক বিভব দেওয়া হইল। এই অবস্থায় কোন তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যাইবে কি?

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনশৈলী

(Electronic structure of atom)

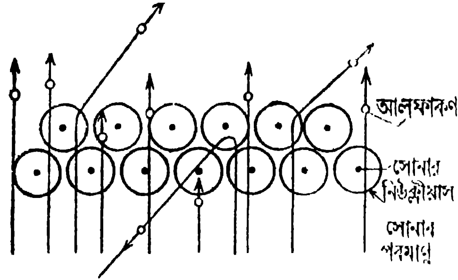
4·1. **পদার্থের পারমাণবিক গঠন** (Atomic structure of matter) : পদার্থের গঠনতত্ত্ব সম্পর্কে বহু প্রাচীনকাল হইতেই দার্শনিক-পণ্ডিতেরা চিন্তা-ভাবনা করিয়া নানারকম অভিমত প্রকাশ করিয়াছেন। প্রাচীন ভারতীয় দার্শনিক কণাদ কল্পনা করিয়াছিলেন যে পদার্থ অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্বারা গঠিত। ডিমোক্রিটাস, প্রমুখ প্রাচীন গ্রীকপণ্ডিতেরাও প্রচার করিয়াছিলেন যে পদার্থ বিচ্ছিন্ন কণা দ্বারা তৈয়ারী। গ্রীকভাষায় 'অ্যাটমস্' (atomos) শব্দের অর্থ অবিভাজ্য। তাই তাঁহারা পদার্থের ঐ কণাগুলির নামকরণ করিয়াছিলেন 'অ্যাটম' বা পরমাণু। কিন্তু প্রাচীন পণ্ডিতদের এই সকল অভিমতের ভিত্তি ছিল নিছক কল্পনা। উনবিংশ শতাব্দীর প্রথমভাগে জন ডালটন নামে একজন ইংরাজ রসায়নবিদ উপরোক্ত প্রাচীন মতবাদ এবং কিছু আধুনিক পরীক্ষালব্ধ ফলাফল মিলাইয়া সর্বপ্রথম পদার্থের গঠনতত্ত্ব সম্পর্কে বিজ্ঞানসম্মত তত্ত্ব প্রচার করেন। ইহাকে বলা হয় ডালটনের পারমাণবিক তত্ত্ব। এই তত্ত্বানুযায়ী প্রতিটি পদার্থ-খণ্ড অসংখ্য অবিভাজ্য কণা দ্বারা গঠিত এবং এই কণাগুলিকেই বলা হয় পরমাণু।

উনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগ পর্যন্ত বিজ্ঞানীদের ধারণা ছিল যে পরমাণুই হইতেছে পদার্থের ক্ষুদ্রতম অবস্থা। পরমাণুকে আর ভাঙ্গিয়া ছোট করা সম্ভব নয় এবং একাধিক পরমাণুর সংযোগে অণু এবং একাধিক অণুর সংযোগে পদার্থ গঠিত। কিন্তু উনবিংশ শতাব্দীর শেষ দশকে সার জে, জে, টমসন, ক্রুকস, লেনার্ড প্রমুখ বিজ্ঞানীরা নিম্নচাপে গ্যাসের ভিতর তড়িৎমোক্ষণ পরীক্ষায় আবিষ্কার করেন এমন এক কণিকা যেটির ভর সর্বাপেক্ষা হালকা মৌল হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের প্রায় 1836 ভাগের এক ভাগ। এই আবিষ্কার হইতে বোঝা গেল যে, বিজ্ঞানীদের পূর্বের ধারণা ঠিক নয়—অর্থাৎ পরমাণু পদার্থের ক্ষুদ্রতম অবস্থা নয়। পরমাণু বিভাজ্য এবং পরমাণু ভাঙ্গিয়া আরো ক্ষুদ্র কণিকা পাওয়া যায়। এই কণিকাগুলির বৈশিষ্ট্য এই যে, ইহারা ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত এবং সর্ববিষয়ে একরকম—অর্থাৎ যে-কোন পরমাণু হইতেই ইহাদের সংগ্রহ করা হউক না কেন, ইহাদের ভর, ব্যাস, ঋণাত্মক তড়িতের পরিমাণ সর্বদা সমান থাকে। এই কণিকা-গুলির নামকরণ করা হইল **ইলেকট্রন**। যেমন, হাইড্রোজেন পরমাণু, অক্সিজেন পরমাণু, ক্লোরিণ পরমাণু—অথবা কোন যৌগ হইতে ইলেকট্রন সংগ্রহ করিলে দেখা যাইবে যে উহারা সর্ববিষয়ে অভিন্ন। সকল রকম পরমাণুতে ইলেকট্রন বিদ্যমান থাকায়, বিজ্ঞানীরা বুঝিলেন যে **ইলেকট্রন পদার্থ গঠনের একটি মূল কণিকা** (fundamental particle)।

যে কোন পদার্থের একটি গোটা পরমাণু লইয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে, তাহাতে কোন তড়িতের অস্তিত্ব নাই। একটি গোটা পরমাণু সর্বদা নিস্তড়িৎ—অথচ পরমাণু হইতে যে ইলেকট্রন নির্গত হয় তাহা ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত। তাহা হইলে পরমাণুর কোন অংশে নিশ্চয়ই সমপরিমাণ

ধনাত্মক তড়িৎ আছে—তাহা না হইলে গোটা পরমাণু নিস্তড়িৎ হয় কিভাবে? এই ধনাত্মক তড়িৎ পরমাণুর কোথায় আছে এবং কিভাবে আছে? এই প্রশ্নের উত্তর প্রথম পাওয়া যায় বিজ্ঞানী জে. জে. টমসনের নিকট হইতে। তিনি পরমাণুর জন্য একটি গঠনকল্প (model) প্রস্তাব করেন যাহাকে টমসনের পারমাণবিক মডেল বলা হয়। তাঁহার মতে পরমাণু একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক যাহার অভ্যন্তরে ধনাত্মক তড়িৎ সর্বত্র সমভাবে ছড়ানো আছে। এই গোলকের ভিতরে ইলেকট্রনগুলি ইতঃস্তত বিক্ষিপ্তভাবে বসানো আছে। কিন্তু 1906 খ্রীষ্টাব্দে বিশিষ্ট ইংরাজ বিজ্ঞানী লর্ড রাদারফোর্ড এমন একটি পরীক্ষা করেন যাহা হইতে স্পষ্ট প্রমাণিত হইল যে টমসনের পারমাণবিক মডেলের ধারণা যুক্তিসঙ্গত নয়—গঠনশৈলী সম্পূর্ণ অন্য ধরনের।

রাদারফোর্ড দ্রুতগতিসম্পন্ন আলফাকণাকে পাতলা সোনার পাতের ভিতর দিয়া পাঠাইয়া আলফাকণার গতিপথ পর্যবেক্ষণ করিলেন। আলফাকণা তেজস্ক্রিয় (radioactive) পদার্থ হইতে নির্গত একপ্রকার ধনাত্মক তড়িৎবাহী কণা এবং ইলেকট্রন হইতে প্রায় সাড়ে সাত হাজার গুণ ভারী। সোনাকে পিটাইয়া অত্যন্ত পাতলা পাতে পরিণত করা যায় এবং রাদারফোর্ড যে পাত লইয়া পরীক্ষা করিয়াছিলেন তাহার বেধ ছিল প্রায় 10^{-4} সে মি। তিনি লক্ষ্য করিলেন

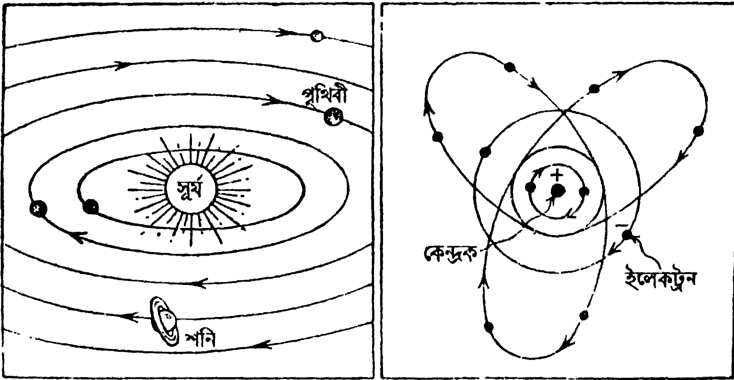


চিত্র 4·1

যে আলফাকণাগুলি পাত ভেদ করিয়া চলিয়া গেল কিন্তু পাতে কোন ছিদ্র হইল না! ইহা হইতে তাঁহার এই কথা মনে হইল যে পরমাণুর ভিতর নিশ্চয়ই যথেষ্ট জায়গা আছে যাহার ভিতর দিয়া আলফাকণাগুলি সরাসরি চলিয়া গেল—পরমাণুকে ধাক্কা দিয়া সরাইয়া পথ করিয়া যাইতে হইল না। তাছাড়া, ঐ পরীক্ষায় তিনি আর একটি কৌতূহলোদ্দীপক ঘটনা লক্ষ্য করেন। তিনি দেখিলেন যে, কিছু কিছু আলফাকণা বিক্ষেপিত হইয়া নিজ পথ হইতে 90° অপেক্ষা বেশী কোণে বিচ্যুত হইয়া আসিয়াছে [চিত্র 4·1]। তিনি চিন্তা করিলেন যে এই বিচ্যুতি নিশ্চয়ই আলফাকণার ধনাত্মক তড়িৎ এবং সোনার পরমাণুর ধনাত্মক তড়িতের ভিতর বিকর্ষণের ফল। পরে তিনি গাইগার ও মার্সডেনের সহযোগিতায় পাতলা ধাতব পাতের দ্বারা আলফাকণার বিক্ষেপণ সংক্রান্ত আরো কিছু পরীক্ষা করেন।

টমসনের তত্ত্বানুযায়ী যদি ধরিয়া লওয়া হয় যে পরমাণুর ধনাত্মক তড়িৎ সমভাবে পরমাণুর সর্বত্র বিস্তৃত হইয়া আছে তাহা হইলে আলফাকণার বিক্ষেপ কোণ কত হয় তাহা হিসাব করিয়া রাদারফোর্ড বিক্ষেপণ সংক্রান্ত তাঁহার পরীক্ষার ফলাফলগুলি যাচাই করিতে চেষ্টা করিলেন।

কিন্তু তিনি দেখিলেন যে—দু-একটি ক্ষেত্রে বিক্ষেপ কোণ এত বেশী যে তাহা কিছুতেই উপরোক্ত টমসন তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না। অতঃপর তিনি নতুনভাবে হিসাব করিলেন। এই হিসাবে তিনি পরমাণুর ধনাত্মক তড়িৎ পরমাণুর সর্বত্র বিস্তৃত আছে ঐরূপ কল্পনা করিলেন না। তৎ-পরিবর্তে তিনি ধনাত্মক তড়িৎকে পরমাণুর কেন্দ্রে অতি ক্ষুদ্র পরিসরে কেন্দ্রীভূত (concentrated) কল্পনা করিলেন। এইরূপ পরিকল্পনার পিছনে যুক্তি ছিল এই যে, আলফাকণা যত ঐ কেন্দ্রীভূত ধনাত্মক তড়িতের কাছাকাছি আসিতে পারিবে তত পারস্পরিক বিকর্ষণ বল বৃদ্ধি পাইবে এবং বিক্ষেপ কোণও বৃদ্ধি পাইবে। পরমাণুর কেন্দ্রীভূত ধনাত্মক তড়িৎ এবং আলফাকণার ধনাত্মক তড়িতের ভিতর কুলম্বের ব্যস্তবর্গের সূত্র (inverse square law) প্রয়োগ করিয়া রাদারফোর্ড আলফাকণার বিক্ষেপণ সংক্রান্ত একটি ফর্মুলা প্রতিষ্ঠা করেন। ঐ ফর্মুলা হইতে জানা যায় যে কোন নির্দিষ্ট অভিমুখে কয়টি আলফাকণা বিক্ষেপিত হইবে। গাইগার এবং



চিত্র 4·2

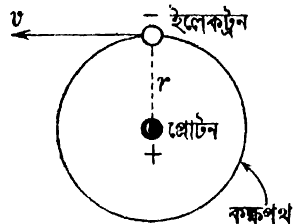
মার্সডেন একটি পরীক্ষার সাহায্যে রাদারফোর্ডের উক্ত ফর্মুলার সত্যতা প্রমাণিত করিলেন। এই-ভাবে, পরমাণুর ধনাত্মক তড়িৎ পরমাণুর কেন্দ্রে অতি ক্ষুদ্র পরিসরে কেন্দ্রীভূত আছে—রাদার-ফোর্ডের এই সিদ্ধান্ত অভ্রান্ত প্রমাণিত হইল। পরমাণুর কেন্দ্রীভূত ধনাত্মক তড়িতের তিনি নাম-করণ করিলেন **নিউক্লীয়াস** (nucleus)। তিনি বলিলেন যে পরমাণুর গঠন সৌর-জগতের গঠনের অনুরূপ। সৌরজগতে সূর্যকে কেন্দ্র করিয়া যেমন গ্রহগুলি আবর্তন করে পর-মাণুতে তেমনি ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত নিউক্লীয়াসকে কেন্দ্র করিয়া ইলেকট্রনগুলি নিজ নিজ কক্ষপথে আবর্তন করে [চিত্র 4·2]।

রাদারফোর্ডের পরীক্ষা হইতে দেখা যায় যে বৃহৎ কোণে বিচ্যুতি ঘটে স্বল্পসংখ্যক কয়েকটি আলফাকণার। অধিকাংশ আলফাকণাই বিশেষ বিচ্যুত না হইয়া সোনার পাত ভেদ করিয়া সরাসরি বাহির হইয়া আসে। ইহা প্রমাণ করে যে পরমাণুর ভিতর যে অঞ্চলে তীব্র তড়িৎক্ষেত্র বর্তমান তাহার আয়তন খুবই সামান্য। পরীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ করিয়া জানা যায় যে নিউক্লীয়াসের ব্যাসের তুলনায় পরমাণুর ব্যাস প্রায় 10,000 গুণ। অতএব, একথা বলা যায় যে পরমাণুর অভ্যন্তরস্থ বেশীর ভাগ জায়গা ফাঁকা।

এইভাবে, আলফাকণার বিক্ষেপণ পরীক্ষায় পারমাণবিক গঠনের যে মডেল পাওয়া গেল—যাহাকে রাদারফোর্ডের মডেল বলা হয়—তাহার দু'টি অংশ—(i) পরমাণুর নিউক্লীয়াস যাহার আয়তন সমগ্র পরমাণুর আয়তনের তুলনায় নগণ্য এবং যাহার ভিতর পরমাণুর সমস্ত ধনাত্মক তড়িৎ ও প্রায় সমস্ত ভর কেন্দ্রীভূত আছে এবং (ii) নিউক্লীয়াসের চতুর্দিকে ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত ইলেকট্রনগুচ্ছ।

4·2 **বোর তত্ত্বের সূত্রপাত** (Introduction of Bohr's theory)ঃ রাদারফোর্ডের পরীক্ষা হইতে জানা যায় যে পরমাণুর অভ্যন্তরে একটি ক্ষুদ্র নিউক্লীয়াসের অস্তিত্ব আছে, যাহার ভিতর পরমাণুর সমস্ত ধনাত্মক তড়িৎ কেন্দ্রীভূত; এছাড়া পরমাণুর ভিতর বেশীর ভাগ জায়গাই শূন্য এবং এই শূন্যের মধ্যে ইলেকট্রনগুলি নিউক্লীয়াসের চতুর্দিক আবর্তন করে। কিন্তু রাদারফোর্ডের এই পারমাণবিক মডেলে কতকগুলি মারাত্মক দুর্বলতা ধরা পড়িল। ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে যখনই কোন তড়িতাধানের ত্বরণ হয় তখনই তাহা তড়িৎ-চুম্বকীয় শক্তি বিকিরণ করে। সুতরাং পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি নিউক্লীয়াসের চতুর্দিকে আবর্তিত হইতে থাকিলে, নিউক্লীয়াসের অভিমুখে ইহাদের যে ত্বরণ উৎপন্ন হইবে তাহার ফলে, এই ইলেকট্রনগুলি ক্রমাগত শক্তি বিকিরণ করিবে। এইভাবে বিকিরণের দরুন ক্রমাগত শক্তিক্ষয় হইতে থাকিলে, ইলেকট্রন কক্ষপথের ব্যাসার্ধও ক্রমাগত হ্রাস পাইবে এবং অবশেষে এক সময় ইলেকট্রনগুলি নিউক্লীয়াসের উপর আসিয়া পড়িবে। রাদারফোর্ড প্রস্তাবিত পারমাণবিক গঠনপ্রকল্পকে সনাতন পদার্থ বিজ্ঞান অনুযায়ী বিচার করিলে উপরোক্ত সমস্যার সম্মুখীন হইতে হয়। এই সমস্যার সমাধান করেন ডেনমার্কের বিশিষ্ট বিজ্ঞানী নীলস্ বোর।

তিনি প্রস্তাব করেন যে, নিউক্লীয়াসকে বেষ্টন করিয়া ইলেকট্রনগুলি ইচ্ছামত যে-কোন কক্ষপথে আবর্তন করিতে পারে না। অর্থাৎ সনাতন পদার্থ বিজ্ঞানের নিয়মকানুন ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র পারমাণবিক জগতে প্রযোজ্য নয়। কতকগুলি নির্দিষ্ট কক্ষপথ আছে—যেগুলিতে ইলেকট্রন আবর্তন করিলে ইলেকট্রনের শক্তি অক্ষুণ্ণ থাকিবে—শক্তির কোন বিকিরণ হইবে না। পরমাণু রাজ্যে সর্বাপেক্ষা সহজতম পরমাণু হইতেছে হাইড্রোজেন পরমাণু। ইহাতে আছে একটি মাত্র ইলেকট্রন এবং নিউক্লীয়াস গঠিত একটি মাত্র ধনাত্মক তড়িৎবাহী প্রোটন দ্বারা। হাইড্রোজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে বোর তাঁহার তত্ত্ব প্রয়োগ করিয়া বলিলেন যে শক্তি অক্ষুণ্ণ রাখিয়া হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনটি যে সকল নির্বাচিত কক্ষপথে আবর্তন করিবে তাহারা এমনই হইবে যে ঐ সকল কক্ষপথে আবর্তন কালে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ একটি ধ্রুবসংখ্যার পূর্ণ গুণিতক হইবে। অর্থাৎ কোন একটি কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r, ঐ কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিবেগ v এবং ইলেকট্রনের ভর m হইলে, (চিত্র 4·3)



চিত্র 4·3

বোরের প্রস্তাব অনুযায়ী, $mvr = n\frac{h}{2\pi}$ [h = প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক] $n = 1, 2, 3,$ ইত্যাদি হইতে পারে

অর্থাৎ ইহারা প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ইত্যাদি বৃত্তাকার কক্ষপথগুলি নির্দেশ করে। এই শর্ত প্রয়োগ করিয়া কোন একটি কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি হিসাব করিলে দেখা যায় এই শক্তিও কতকগুলি নির্দিষ্ট পরিমাণের হইবে।

বোর তাঁহার প্রস্তাবে আরো বলিলেন যে, বহিঃস্থ শক্তির প্রয়োগের দ্বারা পরমাণুর ইলেকট্রনকে উদ্দীপিত (excite) করা সম্ভব এবং এইরূপ উদ্দীপনার ফলে একটি ইলেকট্রন অপেক্ষাকৃত স্বল্প শক্তিবিশিষ্ট কক্ষপথ হইতে অপেক্ষাকৃত বেশী শক্তিবিশিষ্ট কক্ষপথে চলিয়া আসিবে। এই প্রক্রিয়ায় পরমাণুটি বাহিরের শক্তি উৎস হইতে ঐ অতিরিক্ত পরিমাণ শক্তি শোষণ (absorption) করে। আবার, ইহার বিপরীত প্রক্রিয়াও ঘটিতে পারে—অর্থাৎ একটি উদ্দীপিত পরমাণুর ইলেকট্রন কোন অধিক শক্তিসমন্বিত কক্ষপথ হইতে কোন স্বল্পতর শক্তি সমন্বিত কক্ষপথেও ঝাঁপ (jump) দিতে পারে। তখন, অতিরিক্ত শক্তি ঐ পরমাণু তড়িৎ-চুম্বকীয় শক্তির আকারে বিকিরণ করিবে এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনুযায়ী ঐ বিকিরণ দৃশ্যমান আলোকশক্তি, অতিবেগুনী এমন কি এক্সরশ্মিও হইতে পারে। বোরের প্রস্তাবানুসারে শোষিত বা বিকীর্ণ শক্তির কম্পাঙ্ক নিম্নলিখিত সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে : $E_2 - E_1 = h\nu$

এস্থলে, E_1 এবং E_2 কক্ষপথ দুইটিতে ইলেকট্রনের মোট শক্তির পরিমাণ, ν শোষিত বা বিকীর্ণ শক্তির কম্পাঙ্ক এবং h প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক।

পরমাণুতে ইলেকট্রন সংখ্যা ভিন্ন হইলে পরমাণুর ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মাবলী ভিন্ন হয়। এই কারণে আমরা হাইড্রোজেন, অক্সিজেন প্রভৃতি বিভিন্ন রাসায়নিক ও ভৌত ধর্মযুক্ত বিভিন্ন মৌলিক পদার্থ দেখিতে পাই। এখন, এক এক ধরনের পরমাণুতে যে কয়টি ইলেকট্রন থাকে তাহারা বোর নির্দেশিত যে-সকল কক্ষপথে আবর্তন করে, সেই সকল কক্ষপথ লইয়া এক বা একাধিক ইলেকট্রন খোলক (electron shell) গঠন করা হয়। বোর এই খোলকগুলির নাম দিয়াছেন K, L, M, N, ইত্যাদি খোলক। ইলেকট্রনগুলি এইসব খোলকে থাকিয়া নিউক্লীয়াসের চতুর্দিক পরিক্রমা করে। এক একটি খোলকে সর্বাপেক্ষা বেশী কতগুলি ইলেকট্রন থাকিতে পারে তাহা সুনির্দিষ্ট। যেমন, নিউক্লীয়াসের সর্বাপেক্ষা নিকটতম K-খোলকে দুইটির বেশী ইলেকট্রন থাকিবে না, L-খোলকে আটটির বেশী নয়, M খোলকে সর্বাপেক্ষা বেশী যে কয়টি ইলেকট্রন থাকিবে তাহা হইল 18 ইত্যাদি। এই সংখ্যাগুলি কিন্তু মোটেই খাপছাড়া নয়। খোলকগুলিকে 1, 2, 3, 4, ইত্যাদি ক্রমিক সংখ্যা দিয়া ঐ সংখ্যার বর্গকে দুই দ্বারা গুণ করিলেই বিশেষ খোলকে বৃহত্তম সংখ্যক ইলেকট্রনের অবস্থিতি পাওয়া যাইবে।

সর্বাপেক্ষা সহজতম হাইড্রোজেন পরমাণুতে আছে মাত্র একটি ইলেকট্রন। এই ইলেকট্রনটি, বলা বাহুল্য, আছে K-খোলকে। তারপর হিলিয়াম পরমাণু। ইহার দুইটি ইলেকট্রন। K-খোলকে দুইটির বেশী ইলেকট্রন থাকিতে পারে না। সুতরাং হিলিয়াম পরমাণুর দুইটি ইলেকট্রনই K খোলকে অবস্থিত। তৃতীয় মৌল লিথিয়াম। ইহার পরমাণুতে আছে তিনটি ইলেকট্রন। ইহার মধ্যে দুইটি ইলেকট্রন K খোলককে পূর্ণ করিয়া তৃতীয়টি পরবর্তী L-খোলকে স্থান পায়। এই খোলকে আটটি ইলেকট্রনের স্থান আছে। এইভাবে পরপর বিভিন্ন মৌল পার হইয়া 10টি ইলেকট্রনযুক্ত নিয়ন পরমাণুর বেলায় দেখা যায় যে ইহার দুইটি ইলেকট্রন K-খোলককে এবং

বাকী আটটি ইলেকট্রন L-খোলককে পূর্ণ করে। হিলিয়াম পরমাণুর বেলায় যেমন K-খোলক পূর্ণ তেমনি নিয়ন পরমাণুর বেলায় K এবং L খোলক পূর্ণ। ইহার পর সোডিয়াম পরমাণু। ইহার ইলেকট্রনগুচ্ছের অবস্থান নির্ণয়ের জন্য M-খোলকের প্রয়োজন হইবে

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যায় যে পরমাণুর রাসায়নিক ধর্ম মূলত পরমাণুর অপূর্ণ খোলকে ইলেকট্রন সংখ্যা দ্বারা স্থির হয়। ইহাদের বলা হয় 'ভ্যালেন্স ইলেকট্রন' (valence electron)। দেখা যায় যে, হিলিয়াম, নিয়ন, আর্গন প্রভৃতি মৌলের পরমাণুতে যথাক্রমে K,L,M খোলক-গুলি পূর্ণ—কোন খালি স্থান নাই। অর্থাৎ ইহাদের পরমাণুতে কোন ভ্যালেন্স ইলেকট্রন নাই। ইহাদের রাসায়নিক ধর্মও একই রকমের। ইহারা প্রত্যেকেই নিষ্ক্রিয় গ্যাস। আবার, লিথিয়াম, সোডিয়াম, পটাসিয়াম মৌলের পরমাণুর বেলায় একটি ভ্যালেন্স ইলেকট্রন পাওয়া যায়। ঐ ইলেকট্রনটি লিথিয়ামের বেলায় L-খোলকে, সোডিয়ামের বেলায় M-খোলকে, পটাসিয়ামের বেলায় N-খোলকে অবস্থান করে। ইহাদের রাসায়নিক ধর্মেও সাদৃশ্য দেখা যায়।

পরমাণু সম্পর্কিত বোরের এই তত্ত্ব হইতে পরমাণু কর্তৃক বিকীর্ণ রেখা বর্ণালী (line spectrum) এবং অন্যান্য আনুষঙ্গিক ঘটনাবলীর এত সুন্দর ব্যাখ্যা পাওয়া গেল যে অচিরেই এই তত্ত্ব বিজ্ঞানীদের দ্বারা গৃহীত হইল।

4·3 প্রতিপ্রভা এবং অনুপ্রভা (Fluorescence and Phosphorescence) : এমন কতকগুলি বস্তু আছে যাহাদের উপর এক বর্ণের আলো পড়িলে বস্তুটি ভাস্বর হয় এবং অন্য বর্ণের আলো দিতে থাকে। এই ঘটনাকে **প্রতিপ্রভা** বলে এবং বস্তুগুলিকে প্রতিপ্রভ বস্তু বলে। সাধারণত যে তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো পড়ে প্রতিপ্রভ বস্তু তাহা অপেক্ষা বড় তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো বিকিরণ করে; যেমন অতিবেগুনী আলো পড়িলে দৃশ্যমান আলো নির্গত হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত বস্তুর উপর আলো ফেলা হয় ততক্ষণ এই ঘটনা দেখা যায়; আপতিত আলো বন্ধ হইলে প্রতিপ্রভাও বন্ধ হইয়া যায়। কুইনাইন সালফেট, ইউরেনিয়াম, বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড প্রভৃতি প্রতিপ্রভ বস্তুর উদাহরণ।

একখণ্ড কাগজে বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড প্রলেপ দিয়া উহাকে সৌর বর্ণালীর বেগুনী অংশে ধর। দেখিবে কাগজখানি হইতে ফিকে সবুজ আভা নির্গত হইতেছে যদিও উহার উপর কোন সবুজ আলো পড়ে নাই। জিঙ্ক সালফাইড আর একটি প্রতিপ্রভ বস্তু। রেডিয়াম হইতে নির্গত রশ্মি জিঙ্ক সালফাইডে পড়িলে সবুজ-হলদে আলো নির্গত হয়। এই ঘটনা তেজস্ক্রিয়া পর্যালোচনায় ব্যবহৃত হয়।

আবার, এমন কতকগুলি বস্তু আছে যাহাদের সাদা আলোয় কিছুক্ষণ উন্মুক্ত রাখিয়া আলো সরাইয়া লইলেও অন্ধকারে কিছুক্ষণ আলো দিতে থাকে। এই ঘটনাকে বলা হয়, **অনুপ্রভা** এবং বস্তুগুলিকে বলা হয় অনুপ্রভ বস্তু। ক্যালসিয়াম সালফাইড, বেরিয়াম সালফাইড প্রভৃতি অনুপ্রভ বস্তু।

বিভিন্ন বস্তু বিভিন্ন সময় ধরিয়া অনুপ্রভ থাকে। Balmain-এর উজ্জ্বল রঞ্জক অন্ধকারে কয়েকঘণ্টা অনুপ্রভ থাকে। আবার, কোন কোন বস্তু মাত্র কয়েক সেকেণ্ড আলো দেয়।

সাধারণত বেগুনী বা অতিবেগুনী রশ্মি সহজে অনুপ্রভা সৃষ্টি করিতে পারে। উষ্ণতা বৃদ্ধি করিলে অবশ্য অনুপ্রভার মাত্রা বৃদ্ধি পায় কিন্তু অনুপ্রভার সময় কমিয়া যায়।

জোনাকী এবং কতকগুলি সামুদ্রিক জন্তুর দেহ হইতে যে দীপ্তি নির্গত হয় অনেকে তাহা অনুপ্রভা বলিয়া ভুল করেন। আসলে উহা প্রাণীগুলির নিজস্ব দীপ্তি। কতকগুলি রঞ্জক আছে যেগুলি দিনের বেলায় সূর্যালোক গ্রহণ করিয়া রাত্রির অন্ধকারে উজ্জ্বল থাকে। উল্লেখযোগ্য যে প্রতিপ্রভা এবং অনুপ্রভা পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনতত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়।

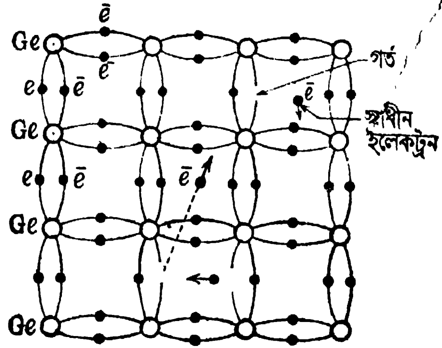
4·4 **পরিবাহী, অন্তরক এবং অর্ধপরিবাহী** (Conductor, insulator and semiconductor)ঃ যে সকল পদার্থ খুব সহজে তড়িৎ পরিবহন করে, তাহাদের বলা হয় পরিবাহী। তামা, সোনা, রূপা ইত্যাদি তড়িতের সুপরিবাহী। আবার যে সকল পদার্থ সহজে তড়িৎ পরিবহন করে না তাহাদের বলা হয় অন্তরক; যেমন, কোয়ার্টজ, অভ্র, গন্ধক ইত্যাদি। পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনতত্ত্ব দ্বারা পদার্থের তড়িৎ পরিবাহিতা বা অপরিবাহিতা ব্যাখ্যা করা যায়।

তড়িতের সুপরিবাহী পদার্থগুলির কেলাসিত গঠন (crystalline structure) এইরূপ যে, কোন পরমাণুর অপূর্ণ খোলকের ভ্যালেন্স ইলেকট্রনগুলি পার্শ্ববর্তী পরমাণুগুলিতে চলিয়া আসিয়া উহাদের অপূর্ণ খোলক পূর্ণ করিতে পারে এবং এইভাবে পরমাণু হইতে পরমাণুতে ইহাদের চলাফেরা করিবার স্বাধীনতা আছে। অভ্যন্তরস্থ পূর্ণ খোলকের ইলেকট্রনগুলি, অবশ্য, ঐ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। অপূর্ণ খোলকের ভ্যালেন্স ইলেকট্রনগুলি উপরোক্ত পদ্ধতিতে স্বাধীনভাবে পদার্থের ভিতর চলাফেরা করিয়া তড়িৎ পরিবহন করে এবং পদার্থটিকে তড়িতের সুপরিবাহী করে। অপরপক্ষে, তড়িতের অপরিবাহী পদার্থগুলির পরমাণুতে ঐ ধরণের বিশেষ কোন স্বাধীন ইলেকট্রন নাই—ইলেকট্রনগুলি পরমাণুতেই দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে।

আবার, এমন কতকগুলি পদার্থ আছে যাহারা ভাল পরিবাহী নহে কিন্তু উত্তম অন্তরকও নয়। ইহাদের পরিবাহিতা সুপরিবাহী পদার্থ এবং অন্তরক পদার্থের মাঝামাঝি। এই সকল পদার্থকে বলা হয় **অর্ধপরিবাহী** (semiconductor)। অর্ধপরিবাহী পদার্থের ইলেকট্রনগুলিকে তাপীয় উত্তেজনা, আলোকসম্পাত, তড়িৎক্ষেত্র প্রভৃতির প্রয়োগে গতিশীল করা যায়। নানা-প্রকার অর্ধপরিবাহী সম্পর্কে আজকাল গবেষণা চলিতেছে; ইহাদের মধ্যে জারমেনিয়াম এবং সিলিকন খুবই উল্লেখযোগ্য কারণ এই দুইটির অর্ধ পরিবাহী হইতে ট্রানজিস্টার (transistor) তৈয়ারী করা হয়। ট্রানজিস্টারের আবিষ্কার বেতার বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে অভূতপূর্ব আলোড়নের সৃষ্টি করিয়াছে। আমেরিকার বেল টেলিফোন লেবরেটরির তিনজন বিজ্ঞানী জে. বারডিন, ডব্লুউ সক্‌লে এবং ডব্লুউ ব্রাটেন জারমেনিয়াম এবং সিলিকনের উপর গবেষণা করিয়া ট্রানজিস্টার উদ্ভাবনের জন্য 1956 খ্রীষ্টাব্দে নোবেল পুরস্কার পান।

জারমেনিয়াম বা সিলিকন পরমাণুতে চারটি ভ্যালেন্স ইলেকট্রন আছে। প্রত্যেক পরমাণুর ভ্যালেন্স ইলেকট্রনগুলি পার্শ্ববর্তী পরমাণুর সহিত সংযোগ স্থাপন করিয়া জারমেনিয়াম কেলাস (crystal) গঠন করে। ফলে, বিশুদ্ধ জারমেনিয়াম পদার্থে কোন স্বাধীন ইলেকট্রন না

থাকায় নিম্নতাপমাত্রায় ইহার কোন তড়িৎ পরিবাহী ধর্ম থাকে না। কিন্তু তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিয়া জারমেনিয়ামকে ঘরের তাপমাত্রায় আনিলে, তাপীয় উত্তেজনায় পরমাণুর কিছু গ্রন্থি (bond) ভাঙ্গিয়া পড়ে। ফলে, কিছু ইলেকট্রন মুক্ত হইয়া কেলাসের ভিতর বিচরণ করিতে পারে। এই ভাবে গ্রন্থি চূর্ণ হইয়া যখন একটি ইলেকট্রন মুক্ত হয় তখন ঐ গ্রন্থিতে একটি 'গর্ত' (hole) তৈরী হয় (4·4 নং চিত্রের দক্ষিণদিকের উপরাংশ)। কেলাসের ঐ অংশ পূর্বে নিস্তড়িৎ ছিল কিন্তু এখন একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি হওয়ায়, ঐ 'গর্ত'-কে আমরা একটি ধনাত্মক তড়িতের উদ্ভাবক বলিয়া মনে করিতে পারি।



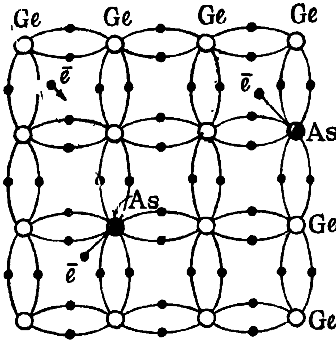
চিত্র 4·4

তাপীয় উত্তেজনার ফলে, ঐ গর্তের ঠিক পার্শ্ববর্তী একটি বদ্ধ ইলেকট্রন ঐ 'গর্ত' ভর্তি করিবার জন্য চলিয়া আসিতে পারে ; আবার, উহা যে 'গর্ত' সৃষ্টি করিবে তাহা ভর্তি করিবার জন্য পার্শ্ববর্তী বদ্ধ ইলেকট্রন চলিয়া আসিবে। অর্থাৎ এক বদ্ধ অবস্থান হইতে ঋণাত্মক তড়িতের অপর বদ্ধ অবস্থানে স্থানান্তরণ হইবে। কিন্তু এই স্থানান্তরের ঘটনাকে বিপরীত দিকে 'গর্তের' স্থানান্তর বলিয়াও মনে করা যাইতে পারে এবং গর্তের স্থানান্তরের অর্থ হইল ধনাত্মক তড়িতের স্থানান্তর। ইহা 4·4 নং চিত্রের নিম্নাংশ দেখানো হইয়াছে।

4·5 N-টাইপ এবং P-টাইপ কেলাস (N-type and P-type crystals) : বিশুদ্ধ জারমেনিয়াম কেলাসের সহিত বিশেষ ধরনের উপযুক্ত পরিমাণ অপদ্রব্য (impurities) মিশাইলে N-টাইপ অথবা P-টাইপ কেলাস তৈরী করা যায়। N-টাইপ কেলাসে শুধু ইলেকট্রন তড়িৎ পরিবহন করে আবার P-টাইপ কেলাসে শুধু 'গর্ত' (holes)-গুলি তড়িৎ পরিবহন করে। ইহাদের পরিবহন ক্ষমতা বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী হইতে অনেক বেশী।

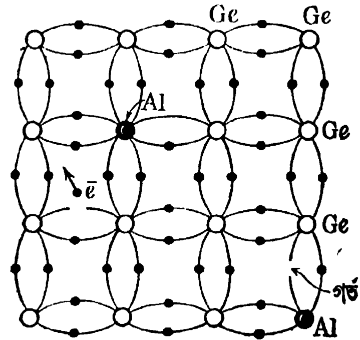
N-টাইপ কেলাস তৈরী করিতে বিশুদ্ধ জারমেনিয়াম বা সিলিকনের সহিত অল্প পরিমাণ আর্সেনিক মিশানো হয়। আর্সেনিক পরমাণুর পাঁচটি ভ্যালেন্স ইলেকট্রন আছে। আর্সেনিকের পরিমাণ এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হয় যে উহার পরমাণুগুলি জারমেনিয়াম কেলাসের মূল গঠনকে অব্যাহত রাখিয়া উহার কেলাস-জাফরির (crystal lattice) অন্তর্গত হইয়া পড়ে এবং প্রত্যেক আর্সেনিক পরমাণু একটি করিয়া অতিরিক্ত ইলেকট্রন দান করে (চিত্র 4·5)। এইজন্য, আর্সেনিককে এক্ষেত্রে দাতা (donor) বলা হয়। হিসাব করিয়া দেখা যায় যে এইভাবে গঠিত কেলাসের প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে 10^{17} স্বাধীন ইলেকট্রন উপস্থিত থাকে। এখন তাপীয় উত্তেজনায় ঐ কেলাসের কিছু কিছু বদ্ধ (bound) ইলেকট্রন গ্রন্থিমুক্ত হইয়া পড়িলে সমসংখ্যক 'গর্ত' তৈয়ারী হইবে এবং স্বাধীন ইলেকট্রনগুলি ঐ 'গর্ত' পূরণের জন্য

ছুটিয়া যাইবে। এক্ষেত্রে 'গর্তের' সংখ্যার তুলনায় স্বাধীন ইলেকট্রনের সংখ্যা অনেক বেশী বলিয়া তড়িৎ-পরিবহনে ইলেকট্রনের (অথবা ঋণাত্মক তড়িতাধানের) ভূমিকাই বেশী। এই কারণে এই কেলাসকে N-টাইপ কেলাস বলে।



চিত্র 4·5

আবার, বিশুদ্ধ জারমেনিয়াম কেলাসের সহিত অ্যালুমিনিয়াম মিশাইলে P-টাইপ কেলাস তৈরী হয়। অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুর তিনটি ভ্যালেন্স ইলেকট্রন আছে। সুতরাং অ্যালু-মিনিয়াম পরমাণু জারমেনিয়াম কেলাসের সহিত মিশিয়া এমন কেলাস-জাফরি গঠন করিবে যাহাতে ইলেকট্রনের ঘাটতি অথবা 'গর্তের' উদ্ভব করিবে। ঐ জাফরির প্রত্যেক অ্যালুমিনিয়াম পরমাণু একটি করিয়া 'গর্ত' সৃষ্টি করিবে যাহা ইলেকট্রন গ্রহণ করিবার জন্য উন্মুখ থাকিবে (চিত্র 4·6)। এইজন্য অ্যালু-মিনিয়ামকে এস্থলে বলা হয় 'গ্রহীতা' (acceptor)। এখন তাপীয় উত্তেজনায় ঐ কেলাসের কিছু কিছু বদ্ধ ইলেকট্রন গ্রন্থিমুক্ত হইয়া পড়িলে, সমসংখ্যক 'গর্ত' সৃষ্টি হইবে। যেহেতু এক্ষেত্রে 'গর্তের' সংখ্যা তুলনায় অনেক বেশী সেইহেতু তড়িৎ পরিবহনে 'গর্ত' অথবা ধনাত্মক তড়িতাধানের ভূমিকাই বেশী। এই কারণে এই কেলাসকে P-টাইপ কেলাস বলে।

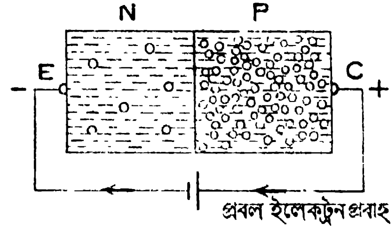


চিত্র 4·6

একথা মনে রাখা প্রয়োজন যে N অথবা P-টাইপ কেলাসের কোনটাই তড়িতাহিত নয়। N-টাইপ কেলাসের অতিরিক্ত ইলেকট্রনের ঋণাত্মক তড়িৎ আর্সেনিক পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক তড়িৎ দ্বারা প্রশমিত হয়; আবার P-টাইপ কেলাসের অতিরিক্ত 'গর্তের' ধনাত্মক তড়িৎ অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুর নিউক্লীয়াসের ধনাত্মক তড়িতের ঘাটতি পূরণ করিয়া নিষ্ক্রিয় হয়।

4·6. P-N সংযোগ বা ডায়োড (P-N junction or Diode): যখন একটি P-টাইপ এবং N-টাইপ অর্ধপরিবাহীকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনা যায় তখন উহারা P-N সংযোগ বা ডায়োড গঠন করে। ঐ সংযোগের ফলে, তড়িৎ পরিবহনের জন্য N-অঞ্চলে প্রভূত ইলেকট্রন এবং P-অঞ্চলে প্রভূত 'গর্ত' পাওয়া যায়। ইহাদের সাধারণভাবে 'সংখ্যাগুরু বাহক' (majority carriers) বলা হয় কারণ N-অঞ্চলে 'গর্তের' তুলনায় ইলেকট্রনের সংখ্যা অনেক বেশী, আবার P-অঞ্চলে ইলেকট্রনের তুলনায় 'গর্তের' সংখ্যা অনেক বেশী। এখন, একটি ব্যাটারীর সাহায্যে P-অঞ্চলকে ধনাত্মক এবং N-অঞ্চলকে ঋণাত্মক বিভব দিলে (চিত্র 4·7) বর্তনী

দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ হইবে। ইহার কারণ নিম্নরূপ; ব্যাটারীর ধনাত্মকে মেরুর দ্বারা P-অঞ্চলের 'গর্ত'-গুলি বিকর্ষিত হইয়া সংযোগের দিকে অগ্রসর হইবে, আবার ব্যাটারীর ঋণাত্মক মেরুর দ্বারা N-অঞ্চলের ইলেকট্রনগুলিও বিকর্ষিত হইয়া সংযোগের দিকে অগ্রসর হইবে। ইলেকট্রনগুলি সংযোগ অতিক্রম করিয়া 'গর্ত' পূরণ করিবে আবার, নতুন বিকর্ষিত 'গর্ত' সংযোগে উপস্থিত হইয়া ঐ অভাব পূরণ করিবে। ফলে, যতক্ষণ পর্যন্ত বিভবপ্রভেদ কাজ করে ততক্ষণ বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ চালু থাকে। এই অবস্থায় বলা হয় P-N সংযোগ 'সম্মুখবর্তী বায়াস' (forward bias) যুক্ত। তখন উহা তড়িৎ-প্রবাহের বিরুদ্ধে খুব কম রোধের সৃষ্টি করে। লক্ষ্য করিবার বিষয় যে এই অবস্থায় যে-অঞ্চলে 'গর্তের' আধিক্য সেখান হইতে গর্তকে সরাইয়া আনা হইতেছে এবং যে-অঞ্চলে ইলেকট্রনের আধিক্য সেখান হইতে ইলেকট্রনকে সরাইয়া আনা হইতেছে। ফলে, প্রবল তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়।



চিত্র 4·7

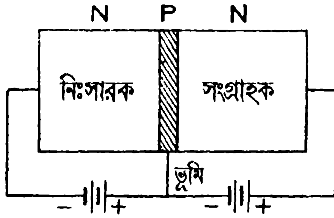
অপরপক্ষে, যদি বিভবের অভিমুখ উল্টাইয়া দেওয়া হয়—অর্থাৎ P-অঞ্চলকে ঋণাত্মক বিভব এবং N-অঞ্চলকে ধনাত্মক বিভব দেওয়া হয় তবে, ইলেকট্রন এবং 'গর্ত' উভয়েই পারস্পরিক তড়িৎদ্বারের দিকে আকৃষ্ট হইবে এবং সংযোগ হইতে দূরে সরিয়া যাইবে। লক্ষ্য করিবার বিষয় যে এই ব্যবস্থায় যে-অঞ্চলে 'গর্তের' সংখ্যা কম সেখান হইতে গর্তকে আকর্ষণ করিবার চেষ্টা করা হইতেছে, আবার যে-অঞ্চলে ইলেকট্রনের সংখ্যা কম সেখান হইতে ইলেকট্রনকে আকর্ষণ করিবার চেষ্টা হইতেছে। ফলে, বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ খুব কম হইবে অথবা P-N সংযোগ তড়িৎপ্রবাহের পথে উচ্চ রোধের সৃষ্টি করিবে। এই অবস্থায় বলা হয় সংযোগ 'বিপরীতমুখী বায়াস' (backward bias) যুক্ত।

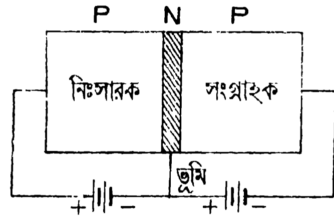
দেখা গেল যে, অর্ধপরিবাহীদ্বয়ের P-N সংযোগ একটি বিশেষ দিকে প্রবল তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করে কিন্তু বিপরীতদিকে বিশেষ করে না। এই সম্পর্কে P-N সংযোগের কার্যপ্রণালীর সঙ্গে ডায়োড ভালভের একমুখীকরণ (diode rectification) কার্যের সাদৃশ্য আছে। এই কারণে আজকাল একমুখীকরণের জন্য P-N সংযোগের বহুল ব্যবহার হইতেছে।

4·7. অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টার (Semi-conductor triode or Transistor) : দুইটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডকে যুক্ত করিয়া অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টার গঠন করা যাইতে পারে। ট্রানজিস্টারে তৃতীয় একটি ভূসংলগ্ন ধাতব তড়িদ্দার থাকে; ইহাকে বলা হয় ভূমি (base)। ট্রানজিস্টার দুই রকমের হইতে পারে :—(i) N—P—N টাইপ এবং (ii) P—N—P টাইপ।

N—P—N টাইপ ট্রানজিস্টারের বেলায় তড়িৎবর্তনী যেরূপ হয় তাহা 4·8 (a) নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। বাম দিকের N—P সংযোগ যে ডায়োড গঠন করে তাহাকে সম্মুখবর্তী বায়াসযুক্ত করিলে (4·8 নং চিত্রানুযায়ী অল্প তড়িচ্চালক বল প্রয়োগ করিয়া) N-অঞ্চল হইতে

ইলেকট্রনগুলি সহজেই P-স্তরের 'গর্ত' সমৃদ্ধ ভূমি (base) অঞ্চলে চলিয়া আসে। N-স্তর এক্ষেত্রে উত্তপ্ত ফিলামেন্টের ন্যায় ইলেকট্রন নিঃসরণ করে বলিয়া ইহাকে ট্রানজিস্টারের **নিঃসারক** (emitter) বলা হয়। P অঞ্চলে প্রবেশ করিয়া কিছু ইলেকট্রন সেখানকার 'গর্ত' পূরণ করে কিন্তু বেশীর ভাগ ইলেকট্রন দক্ষিণ দিকের N—P সংযোগের ধনাত্মক বায়াসযুক্ত N-স্তরের দ্বারা আকৃষ্ট হইয়া সেইদিকে গমন করে। এই কারণে দক্ষিণদিকের N-স্তরকে **সংগ্রাহক**





(a) চিত্র 4·8 (b)

(collector) বলা হয়। যেহেতু 'গর্ত' সমৃদ্ধ P-স্তর খুবই পাতলা (প্রায় ·001″ পুরু) সেইহেতু ইলেকট্রনের সামান্য অংশ ঐ স্তরের 'গর্ত' পূরণ করে—শতকরা 95—99 ভাগ ইলেকট্রন সংগ্রাহকে উপস্থিত হয়। ফলে, ভূমি হইতে সংগ্রাহকে একটি জোরালো তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে লক্ষ্যনীয় যে (i) নিঃসারককে সর্বদা সম্মুখবর্তী এবং সংগ্রাহককে বিপরীতমুখী বায়াসযুক্ত করা হইল এবং (ii) দুইটি-অর্ধপরিবাহী ডায়োডকে পিছনে-পিছনে (back to back) যুক্ত করিয়া ট্রানজিস্টার গঠন করা হইল।

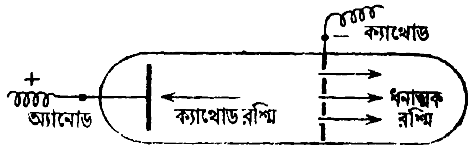
P—N—P টাইপ ট্রানজিস্টারের বেলায় তড়িৎ সংযোগ উল্টা করা হয় [চিত্র 4·8 (b)]। এক্ষেত্রে বামদিকের P—N সংযোগ সম্মুখবর্তী বায়াসযুক্ত যাহাতে উহার P-স্তর নিঃসারকের কাজ করে এবং দক্ষিণ দিকের P—N সংযোগ বিপরীতমুখী বায়াসযুক্ত যাহাতে উহার P-স্তর সংগ্রাহকের কাজ করিতে পারে। ধনাত্মক নিঃসারক P-স্তর N-ভূমি অঞ্চলে 'গর্ত' প্রেরণ করে (অথবা ভূমি হইতে ইলেকট্রন আকর্ষণ করে)। ঐ গর্তগুলি তখন ঋণাত্মক বায়াসযুক্ত সংগ্রাহক হইতে ইলেকট্রন আকর্ষণ করে। ইহাতে একটি তড়িৎপ্রবাহ সংগ্রাহক হইতে ভূমির দিকে প্রবাহিত হয়। মেরুমুখের পরিবর্তন এবং তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখের পরিবর্তন ছাড়া P—N—P ট্রানজিস্টার এবং N—P—N ট্রানজিস্টারে অন্য কোন প্রভেদ নাই।

উপরের আলোচনা হইতে বোঝা যায় যে ট্রানজিস্টারে তিনটি মুখ্য অংশ আছে—(i) নিঃসারক (emitter) (ii) সংগ্রাহক (collector) এবং (iii) ভূমি (base)। নিঃসারক ভূমি অঞ্চলে তড়িৎবাহক (P—N—P টাইপে 'গর্ত' এবং N—P—N টাইপে ইলেকট্রন) প্রেরণ করিয়া ট্রায়োড ভালভের ফিলামেন্টের ভূমিকা পালন করে। সংগ্রাহক ভূমি অঞ্চল হইতে তড়িৎবাহককে আকর্ষণ করিয়া ট্রানজিস্টারের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে সুতরাং ইহা ট্রায়োড ভালভের প্লেটের ভূমিকা পালন করে। আর, ভূমি অঞ্চল যথোপযুক্ত বায়াস

পাইয়া ট্রানজিস্টারের তড়িৎপ্রবাহকে নিয়ন্ত্রিত করে ; সুতরাং ইহা ট্রায়োড ভালভের গ্রিডের ভূমিকা পালন করে। অতএব, ট্রানজিস্টার ট্রায়োড ভালভের সকল রকম কার্যই সম্পাদন করিতে সক্ষম।

4·8. **পারমাণবিক ভর নির্ণয় ; ধনাত্মক রশ্মি** (Measurement of atomic masses; Positive rays) : রাসায়নিক পদ্ধতিতে আমরা যখন কোন মৌলের পারমাণবিক ভর নির্ণয় করি তখন শত সহস্র পরমাণুর গড় পারমাণবিক ভর নির্ণয় করি—কোন একটি পরমাণুকে আলাদা করিয়া উহার ভর নির্ণয় করি না। কিন্তু উনবিংশ শতাব্দীর শেষ দিকে যখন ধনাত্মক রশ্মি আবিষ্কৃত হইল, তখন ঐ রশ্মির সহায়তায় ভরবর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের (mass spectrograph) দ্বারা কোন মৌলের পরমাণুগুলিকে আলাদাভাবে বিচার করিয়া উহাদের ভর নির্ণয়ের ব্যবস্থা করা হইল। পারমাণবিক ভর নির্ণয়ে ধনাত্মক রশ্মির গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা আছে বলিয়া ঐ রশ্মির সম্বন্ধে কিছু প্রাথমিক আলোচনা প্রয়োজন।

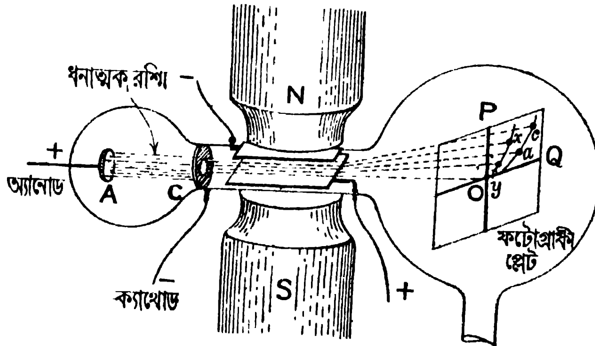
উনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগে গোল্ডস্টিন নামে একজন বিজ্ঞানী প্রথম ধনাত্মক রশ্মি আবিষ্কার করেন। তিনি একটি তড়িৎ-মোক্ষণ নল লইয়া কাজ করিতেছিলেন। ঐ নলের ক্যাথোড পাতটিতে কয়েকটি ছিদ্র ছিল। মোক্ষণ-নলের বায়ু-চাপ প্রায় 1 mm. পারদস্তম্ভ করিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ পাঠাইয়া তিনি দেখিতে পান যে ক্যাথোড পাতের প্রত্যেকটি ছিদ্র দিয়া পাতের পশ্চাতে উজ্জ্বল স্রোতধারা (luminous streamers) নির্গত হইতেছে (চিত্র 4·9)। ছিদ্রের ভিতর দিয়া নির্গত হইতেছে বলিয়া গোল্ডস্টিন প্রথমে এই রশ্মির নামকরণ করেন **নালী রশ্মি** (canal rays)। পরবর্তী অনুসন্ধান কার্যের ফলে জানা গেল যে মোক্ষণনলে যে গ্যাস থাকে তাহার পরমাণুর ভরের সমান ভরবিশিষ্ট কিন্তু ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রস্থ কণিকা দ্বারা ঐ রশ্মি গঠিত। তখন উহাদের নাম হইল **ধনাত্মক রশ্মি** (positive rays)।



চিত্র 4·9

মোক্ষণ নলে গ্যাস মোক্ষণ প্রণালী অনুধাবন করিলে ধনাত্মক রশ্মির উৎপত্তির কারণ বোঝা যাইবে। ক্যাথোড প্লেট হইতে ক্যাথোড রশ্মি—অর্থাৎ ইলেকট্রন নির্গত হইয়া যখন অ্যানোডের দিকে ধাবিত হয় তখন উহারা মোক্ষণ নলের গ্যাস-অণু বা পরমাণুর সহিত সংঘাত সৃষ্টি করিয়া অণু-পরমাণুকে আয়নিত করে। আয়নিত অণু বা পরমাণু হইতে বিচ্যুত ইলেকট্রন ক্যাথোড রশ্মির স্রোতের সহিত মিশিয়া অ্যানোডের দিকে অগ্রসর হয়। অণু বা পরমাণুর অবশিষ্টাংশ —যাহা ধনাত্মক আয়নে পরিণত হইল—তাহা ক্যাথোডের দিকে ছুটিয়া যায়। ইহারাই ধনাত্মক রশ্মি। সুতরাং সোজা কথায় বলা যায় মোক্ষণ নলের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের আয়নিত অণু-পরমাণুই ধনাত্মক রশ্মি। এই কারণে ধনাত্মক রশ্মির পর্যালোচনার গুরুত্ব সমধিক। রশ্মির একটি কণার ভর নির্ণয় করিতে পারিলে ঐ গ্যাসের একটি অণু বা পরমাণুর ভর পাওয়া যাইবে। অর্থাৎ ধনাত্মক রশ্মির পর্যালোচনায় আমরা কোন গ্যাসের স্বতন্ত্রভাবে একটি পরমাণু বা অণুর খবরাখবর পাই যাহা কোন রাসায়নিক পদ্ধতিতে সম্ভব নয়।

4·9. **টমসনের ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র** (Thomson's mass spectro graph) ঃ কোন মৌল গ্যাসের ধনাত্মক রশ্মিকে চৌম্বক এবং তড়িৎ ক্ষেত্রের দ্বারা বিক্ষিপ্ত করিয়া ঐ গ্যাসের অণু বা পরমাণুর ভর নির্ণয় করিবার একটি পদ্ধতি 1911 খ্রীষ্টাব্দে জে. জে. টমসন উদ্ভাবন করেন। এই পদ্ধতির যান্ত্রিক ব্যবস্থা 4·10 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে। ইহাকে টমসনের ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র বলা হয়।



চিত্র 4·10

বামদিকের কাচের বাল্‌বে পরীক্ষাধীন গ্যাসের কিছু পরিমাণ লওয়া হয়। অ্যানোড (A) ও ক্যাথোডের (C) ভিতর উচ্চ বিভবপ্রভেদ সৃষ্টি করিলে ক্যাথোড হইতে ইলেকট্রন নির্গত হইয়া ঐ গ্যাসের অণু ও পরমাণুকে আয়নিত করে। ধনাত্মক তড়িতে আয়নিত কণাগুলি তখন ক্যাথোডের ছিদ্র দিয়া নির্গত হইয়া সূক্ষ্ম ধনাত্মক রশ্মির স্রোত উৎপন্ন করে এবং স্থির বেগে ঐ ধনাত্মক রশ্মির স্রোত একটি শক্তিশালী তড়িৎ-চুম্বকের মেরুদ্বয় (N এবং S) এবং একটি ধারকের দুই প্লেটের ভিতর দিয়া গিয়া ডান দিকে আর একটি বড় কাচের কুণ্ডের ভিতর রাখা একখানি ফটোগ্রাফী প্লেট বা বা প্রতিপ্রভ পর্দায় আঘাত করে।

ধারকের সমান্তরাল প্লেটদ্বয়ের ভিতর বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে উহা ধনাত্মক রশ্মির কণাগুলির উপর ঊর্ধ্বমুখী বল প্রয়োগ করিবে এবং কণাগুলি O বিন্দু হইতে P বিন্দুর দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে। অপরপক্ষে, তড়িৎ-চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্র কাগজের তলে উল্লম্বভাবে ক্রিয়া করিলে উহা নিজের অভিমুখ এবং কণাগুলির গতির অভিমুখ—উভয়ের লম্বভাবে একটি বল কণাগুলির উপর প্রয়োগ করিবে এবং কণাগুলি কাগজের তলের অভিলম্বভাবে O হইতে Q-এর দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে।

এখন, মনে কর, যন্ত্রে বিশুদ্ধ হিলিয়াম গ্যাস লওয়া হইল—যাহার পরমাণুগুলির ভর সব সমান। এই পরমাণুগুলির ভিতর যেগুলি ক্যাথোড পাতের কাছাকাছি আয়নিত হয়, তাহারা ক্যাথোড পাতের ছিদ্রে পৌঁছিয়া খুব বেগবান হইতে পারে না; ফলে তাহারা চৌম্বক ক্ষেত্র ও তড়িৎ-ক্ষেত্রের ভিতর বেশীক্ষণ অবস্থান করে এবং ঐ ক্ষেত্রদ্বয় দ্বারা খুব বেশী বিক্ষিপ্ত হয়। ঐরূপ বিক্ষিপ্ত হইয়া কণাগুলি প্লেটের *c* বিন্দুর কাছাকাছি গিয়া পড়িবে। আবার, যে সকল পরমাণু

অ্যানোড পাতের কাছাকাছি আয়নিত হয় তাহারা ক্যাথোড পাতের ছিদ্রে পৌঁছিয়া সর্বাপেক্ষা বেশী বেগবান হয় এবং চৌম্বক ক্ষেত্র ও তড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারা খুব কম বিক্ষিপ্ত হয়। ফলে, ঐ কণাগুলি প্লেটের a বিন্দুর কাছাকাছি অঞ্চলে গিয়া আঘাত করে। যেহেতু কণাগুলির বেগ নানারকম হয় সেইহেতু কণাগুলি বিভিন্ন রকমে বিক্ষিপ্ত হইয়া প্লেটের উপর একটি প্রতিপ্রভ রেখা (line of fluorescence) সৃষ্টি করে। তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র যে-বল প্রয়োগ করে তাহা হিসাব করিলে প্রমাণ করা যায় যে প্লেটের উপর ঐ রেখা একটি অধিবৃত্তের অংশ হইবে।

যদি যন্ত্র মধ্যস্থ গ্যাস বিশুদ্ধ না হইয়া দুই রকম ভরের পরমাণু দ্বারা গঠিত হয় তবে ঐ দুই রকম ভরের ধনাত্মক রশ্মিই ক্যাথোডের ছিদ্র দিয়া তড়িৎ ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর চলিয়া আসিবে। যদিও প্রত্যেকটি আয়নে ধনাত্মক তড়িতের পরিমাণ সমান এবং সেইহেতু প্রত্যেকটি আয়ন চৌম্বক ও তড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারা সমান বল অনুভব করিবে তথাপি যে-আয়নের ভর বেশী তাহা কম বিক্ষিপ্ত হইবে এবং যে-আয়নের ভর কম তাহা কম বিক্ষিপ্ত হইবে। ফলে, বেশী ভরের পরমাণুগুলি xy-এর ন্যায় এবং কম ভরের পরমাণুগুলি ac-এর ন্যায় দুইটি অধিবৃত্ত গঠন করিবে। প্রতিপ্রভ পর্দার পরিবর্তে ফটোগ্রাফী প্লেট রাখিলে ঐ প্লেটে দুইটি অধিবৃত্তের ছবি পাওয়া যাইবে। সুতরাং ফটোগ্রাফী প্লেটে ধনাত্মক রশ্মি অধিবৃত্তের সংখ্যা গণনা করিয়া বলা যায় যে পরীক্ষাধীন গ্যাসে কয়প্রকার ভরের পরমাণু আছে। শুধু তাই নয়, অধিবৃত্ত হইতে ঐ পরমাণুর ভরও নিখুঁতভাবে নির্ণয় করা সম্ভব।

টমসনের পর আরো অনেকে নানাধরনের ভরবর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র উদ্ভাবন করিয়াছেন। ইহাদের মধ্যে অ্যাসটন, ডেম্পস্টার, বেনব্রিজ, নায়ার প্রমুখ বিজ্ঞানী কর্তৃক উদ্ভাবিত ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র খুবই উল্লেখযোগ্য।

4·10. **সমস্থানিকের আবিষ্কার** (Discovery of isotopes) : যে সকল পরমাণুর রাসায়নিক ধর্মাবলী অভিন্ন কিন্তু পারমাণবিক ভর ভিন্ন তাহাদের সমস্থানিক বলে। রাসায়নিক ধর্মাবলী অভিন্ন হওয়ায় মৌল পদার্থের তালিকায় উহারা একই স্থান অধিকার করে। এই কারণে উহাদের নাম **সমস্থানিক** (isotope) হইয়াছে। তেজস্ক্রিয় মৌলের (radioactive elements) ভিতর সমস্থানিকের অস্তিত্বের কথা বিজ্ঞানীরা ইতিপূর্বেই জ্ঞাত হইয়াছিলেন। কিন্তু অতেজস্ক্রিয় সাধারণ মৌলের সমস্থানিক আছে, ইহা তাঁহাদের জানা ছিল না। সার জে. জে. টমসন সর্বপ্রথম তাঁহার ভরবর্ণালী বীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে প্রমাণ করেন যে সাধারণ মৌলেও সমস্থানিক আছে।

টমসন প্রথমে নিওন গ্যাস লইয়া পরীক্ষা করেন। তিনি তাঁহার যন্ত্রে নিওন গ্যাস লইয়া ধনাত্মক রশ্মি তৈয়ারী করেন এবং ফটোগ্রাফী প্লেটে দুইটি অধিবৃত্ত পান। একটি অধিবৃত্ত বেশ স্পষ্ট এবং উহার আনুষঙ্গিক পারমাণবিক ভর দেখা গেল 20; অন্যটি একটু ক্ষীণ এবং উহার আনুষঙ্গিক পারমাণবিক ভর 22; দুইটি রেখাচিত্রের তীব্রতার (intensity) অনুপাত পরিমাপ করিয়া 9:1 ফল পাওয়া গেল। প্রমাণ হইল যে নিওন গ্যাস দুই রকম পরমাণুর মিশ্রণে তৈয়ারী —এক দলের ভর 20 এবং অন্য দলের 22 অথচ রাসায়নিক ধর্মের দিক হইতে ইহারা অভিন্ন।

রাসায়নিক পদ্ধতিতে স্থিরীকৃত নিয়নের পারমাণবিক ভর 20·2; নিওন গ্যাসে উপরোক্ত দুই দল পরমাণু 9:1 অনুপাতে উপস্থিত থাকিলে, উহার গড় পারমাণবিক ভর দাঁড়ায় $\frac{20 \times 9+22 \times 1}{10}$ $=20 \cdot 2$ এবং ইহা নিয়নের রাসায়নিক পারমাণবিক ভরের সহিত ঠিক মিলিয়া যায়। ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে রাসায়নিক পারমাণবিক ভর বহু পরমাণুর গড় পারমাণবিক ভর এবং নিওনের বেলায় ঐ পরমাণুগুলি দুই রকম পরমাণু দ্বারা গঠিত—যাহাদের ভর বিভিন্ন কিন্তু রাসায়নিক ধর্মাবলী অভিন্ন। অর্থাৎ সাধারণ মৌল-গ্যাস নিওনে সমস্থানিক বর্তমান।

পরবর্তীকালে উন্নত ধরনের ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পর্যালোচনা করিয়া দেখা গিয়াছে যে প্রায় সব মৌলের—এমন কি সর্বাপেক্ষা হালকা এবং সরল মৌল হাইড্রোজেনেরও সমস্থানিক আছে।

4·11. **নিউক্লীয়াসের গঠন** (Structure of the nucleus) ঃ পরমাণু গঠনের যে চিত্র রাদারফোর্ড পরিকল্পনা করিয়াছিলেন তাহার একটি প্রধান অংশ হইতেছে ধনাত্মক তড়িদ্বাহী নিউক্লীয়াস। নিউক্লীয়াসকে কেন্দ্র করিয়া এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিভিন্ন খোলকে নিজস্ব কক্ষপথে বিচরণ করে। কিন্তু প্রশ্ন হইতেছে যে এই গুরুত্বপূর্ণ অংশ—নিউক্লীয়াসের গঠন কিরূপ?

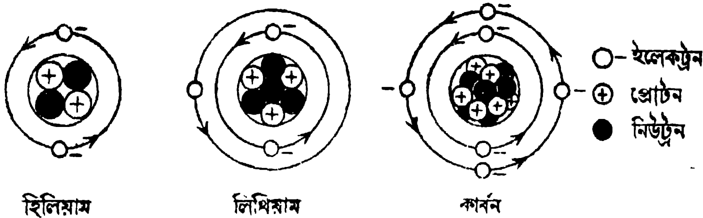
সর্বাপেক্ষা সহজতম মৌল হাইড্রোজেন পরমাণু বিশ্লেষণ করিলে দেখা যায় যে উহাতে একটি মাত্র ইলেকট্রন আছে। সুতরাং হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লীয়াসে ধনাত্মক তড়িতের পরিমাণ একটি ইলেকট্রনের তড়িৎ পরিমাণের সমান কারণ একটি গোটা হাইড্রোজেন পরমাণু তড়িৎবিহীন। হাইড্রোজেনের এই নিউক্লীয়াসকে বলা হয় **প্রোটন** (proton)। ইলেকট্রনের ন্যায় প্রোটনও পদার্থ গঠনের একটি মূল কণিকা। তাই, নিউক্লীয়াসের গঠন সম্পর্কে সর্বপ্রথমে বলা হইল যে ইহা একমাত্র প্রোটন দ্বারা তৈয়ারী এবং কোন পরমাণুতে যে কয়টি ইলেকট্রন থাকিবে নিউক্লীয়াসে সেই কয়টি প্রোটন থাকিবে কারণ সে অবস্থায় উভয়ের তড়িৎ প্রশমিত হইয়া পরমাণুটি নিস্তড়িৎ হইবে।

কিন্তু নিউক্লীয়াস গঠনের এই চিত্র ত্রুটিহীন নয়। শীঘ্রই এই চিত্রের ত্রুটি ধরা পড়িল। আমরা যদি বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর কথা বিবেচনা করি, তবে এই ত্রুটি সহজেই বুঝিতে পারিব। সর্বাপেক্ষা হালকা পরমাণু হাইড্রোজেনের পর আমরা পাই হিলিয়াম পরমাণু। ইহার ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর চারগুণ; অতএব হিলিয়াম পরমাণুর নিউক্লীয়াসে চারটি প্রোটন থাকা উচিত। আবার, নানারূপ পরীক্ষার ফলে জানা যায় ইহাতে ইলেকট্রনের সংখ্যা দুই। অতএব অতিরিক্ত দুইটি প্রোটনের তড়িতাধান প্রশমিত করে কে? এই গরমিল ভারী মৌলের ক্ষেত্রে আরও বেশী প্রকট। যেমন, কার্বন পরমাণুর নিউক্লীয়াসে 12টি প্রোটন থাকা উচিত এবং নিউক্লীয়াসের বাহিরে ইলেকট্রন 6টি। সুতরাং 6টি প্রোটনের তড়িতাধান অপ্রশমিত রহিয়া যাইতেছে। সর্বাপেক্ষা ভারী মৌল ইউরেনিয়ামের বেলায় দেখা যায়, নিউক্লীয়াসে আছে 238টি প্রোটন এবং বাহিরে আছে মাত্র 92টি ইলেকট্রন। অতএব, (238—92)=146টি প্রোটনের ধনাত্মক তড়িৎ অপ্রশমিত থাকিতেছে। এই সকল ক্ষেত্রে, অতিরিক্ত প্রোটনের ধনাত্মক তড়িৎকে প্রশমিত করিয়া গোটা পরমাণুকে নিস্তড়িৎ রূপ দিতে গিয়া বিজ্ঞানীরা নিউক্লীয়াসে ঐ অতিরিক্ত সংখ্যার ইলেকট্রনের

অস্তিত্ব স্বীকার করিয়া লইলেন। যেমন, হিলিয়াম পরমাণুর নিউক্লীয়াসে 2টি ইলেকট্রন, কার্বন পরমাণুর নিউক্লীয়াসে 6টি ইলেকট্রন, ইউরেনিয়াম পরমাণুর নিউক্লীয়াসে 146টি ইলেকট্রন ইত্যাদি। ইলেকট্রনগুলি প্রোটনের তুলনায় খুব হালকা বলিয়া ইহারা নিউক্লীয়াস—তথা পারমাণবিক ভর পরিবর্তন করিল না অথচ অতিরিক্ত প্রোটনের তড়িতাধানকে প্রশমিত করিয়া গোটা পরমাণুকে নিস্তড়িৎ করিল। সুতরাং নিউক্লীয়াস গঠনের চিত্র পরিবর্তিত হইয়া দাঁড়াইল এই যে, উহা প্রোটন ও ইলেকট্রন দ্বারা গঠিত; কেবলমাত্র হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লীয়াসে ইলেকট্রন নাই—উহা একটি মাত্র প্রোটন দ্বারা গঠিত।

কিন্তু এই চিত্রও বেশী দিন টিকিল না। নানা কারণে এই চিত্র অসুবিধাজনক হইয়া পড়িল। বিশেষত স্থায়ী সমস্থানিকের আবিষ্কারের পর এই চিত্রের অসারতা প্রকট হইল। কারণ মূল মৌল ও উহার সমস্থানিকের ভৌত ও রাসায়নিক গুণাবলী এক হওয়ার অর্থ উহাদের পরমাণুতে সমসংখ্যক নিউক্লীয়াস বহির্ভূত ইলেকট্রন আছে; সুতরাং উহাদের পরমাণুর নিউক্লীয়াসে সমসংখ্যক প্রোটন থাকা উচিত। কিন্তু তাহা হইলে উহাদের পারমাণবিক ভর ভিন্ন হয় কি করিয়া? তাছাড়া, আরো কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ কারণে নিউক্লীয়াসে ইলেকট্রনের অস্তিত্ব সম্ভব নয় বলিয়াই বোঝা গেল।

এই সমস্যার সমাধান হইল 1932 খ্রীষ্টাব্দে যখন আর একটি মূল কণিকা আবিষ্কৃত হইল। এই কণিকার নাম **নিউট্রন** (neutron) এবং আবিষ্কর্তা বিশিষ্ট ইংরাজ বিজ্ঞানী জেমস্ স্যাডুইক। নিউট্রন একটি নিস্তড়িৎ কণিকা এবং ইহার ভর একটি প্রোটনের ভরের প্রায় সমান। নিউট্রন আবিষ্কারের সঙ্গে সঙ্গে বিজ্ঞানীরা নিউক্লীয়াস গঠনে প্রোটন-ইলেকট্রন তত্ত্ব পরিত্যাগ করিয়া প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব গ্রহণ করিলেন। তাঁহারা বলিলেন যে, পরমাণুতে নিউক্লীয়াসের বাহিরে যে-কয়টি ইলেকট্রন থাকিবে নিউক্লীয়াসে ঠিক সেই কয়টি প্রোটন থাকিবে। পূর্বে নিউক্লীয়াসে যে অতিরিক্ত সংখ্যার ইলেকট্রন থাকিবে বলিয়া উল্লেখ করা হইয়াছিল, তাহার পরিবর্তে ঐ সংখ্যার নিউট্রন থাকিবে। যেমন, হিলিয়াম পরমাণুতে [চিত্র 4·11] বাহিরে 2টি



চিত্র 4·11

ইলেকট্রন, নিউক্লীয়াসে দুইটি করিয়া প্রোটন ও নিউট্রন, লিথিয়াম পরমাণুতে 3টি ইলেকট্রন এবং নিউক্লীয়াসে 3টি প্রোটন ও 4টি নিউট্রন, কার্বন পরমাণুতে 6টি ইলেকট্রন এবং নিউক্লীয়াসে 6টি করিয়া প্রোটন ও নিউট্রন, ইউরেনিয়াম পরমাণুতে 92টি ইলেকট্রন এবং নিউক্লীয়াসে 92টি প্রোটন

ও (238—92)=146টি নিউট্রন থাকিবে। কেবলমাত্র হাইড্রোজেন পরমাণুতে কোন নিউট্রন নাই। সমস্থানিকের গঠন সম্পর্কে বলা হইল যে, মূল পরমাণু ও উহার সমস্থানিকে সমসংখ্যক ইলেকট্রন ও প্রোটন থাকিবে কিন্তু নিউট্রনের সংখ্যা আলাদা হইবে। নিউক্লীয়াসে নিউট্রনের সংখ্যা আলাদা হইলে পারমাণবিক ভর পৃথক হইবে; অথচ নিউক্লীয়াস বহির্ভূত ইলেকট্রন সংখ্যা সমান থাকায় উহাদের রাসায়নিক ও ভৌত গুণাবলী এক হইবে। যেমন, 20 এবং 22 ভরের নিয়ন সমস্থানিকের বেলায়, উভয়ের প্রোটন ও ইলেকট্রনের সংখ্যা যথাক্রমে 10 এবং 10; কিন্তু প্রথমটির নিউক্লীয়াসে আছে 10টি নিউট্রন এবং দ্বিতীয়টিতে আছে 12টি নিউট্রন।

তাছাড়া নিউক্লীয়াস গঠনের প্রোটন-ইলেকট্রন তত্ত্ব অন্যান্য যেসমস্ত অসুবিধার সম্মুখীন হইয়াছিল, প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব সেই সকল অসুবিধা দূর করিয়া দৃঢ় ভাবে প্রতিষ্ঠিত হইল।

4·12 **ভর সংখ্যা এবং পারমাণবিক সংখ্যা** (Mass number and atomic number)ঃ পরমাণু অত্যন্ত ক্ষুদ্র হওয়ায়, উহার ওজন পরিমাপে বিজ্ঞানীরা একটি ভিন্ন পদ্ধতি অবলম্বন করেন। কোন মৌল পরমাণুকে একক হিসাবে গণ্য করিয়া তুলনামূলক সংখ্যা দ্বারা অন্য মৌল পরমাণুর ওজন প্রকাশ করা হয়। প্রমাণ বস্তু হিসাবে অক্সিজেন পরমাণুকে লওয়া হয় এবং উহার ওজন ধরা হয় 16; ঐরূপ একটি অক্সিজেন পরমাণুর তুলনায় অন্য কোন পরমাণু কতগুণ ভারী সেই সংখ্যা ঐ পরমাণুর পারমাণবিক ভার বুঝায়। এই হিসাবে হাইড্রোজেন পরমাণুর পারমাণবিক ভার 1·00813; হিলিয়াম পরমাণুর 4·00387, অ্যালুমিনিয়ামের 26·9914 ইত্যাদি। এখন, পারমাণবিক ভারের নিকটতম পূর্ণ সংখ্যাকে ঐ পরমাণুর **ভর সংখ্যা** (mass number) বলা হয়। সুতরাং হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর সংখ্যা 1, হিলিয়ামের 4, অ্যালুমিনিয়ামের 27 ইত্যাদি। দেখা যায় যে, কোন পরমাণুর নিউক্লীয়াসে প্রোটন ও নিউট্রনের মোট সংখ্যা ঐ পরমাণুর ভরসংখ্যার সমান। যেমন, হিলিয়াম পরমাণুর ভরসংখ্যা 4, আবার উহার নিউক্লীয়াসে আছে 2টি প্রোটন ও 2টি নিউট্রন—অর্থাৎ 4টি কণা। তেমনি, অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুর নিউক্লীয়াসে প্রোটন ও নিউট্রনের মোট সংখ্যা 27; কার্বন পরমাণুর 12, ইউরেনিয়াম পরমাণুর 238 ইত্যাদি। সাধারণভাবে, ভরসংখ্যাকে A অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সুতরাং বলা যায়,

A=পরমাণুর নিউক্লীয়াসে অবস্থিত প্রোটন+নিউট্রন সংখ্যা

পক্ষান্তরে, কোন পরমাণুর নিউক্লীয়াস বহির্ভূত ইলেকট্রনের সংখ্যাকে ঐ পরমাণুর **পারমাণবিক সংখ্যা** (atomic number) বলা হয়। পারমাণবিক সংখ্যার আর একটি গুরুত্বপূর্ণ তাৎপর্য আছে। বিখ্যাত রুশ বিজ্ঞানী মেণ্ডেলিফ বহুপূর্বে বিভিন্ন মৌলগুলিকে উহাদের পারমাণবিক ভর-অনুযায়ী পর পর একটি তালিকায় সাজাইয়াছিলেন। এই তালিকাকে বলা হয় **পর্যায় সারণী** (Periodic table)। খুবই আশ্চর্যের বিষয়, দেখা গেল যে, উক্ত পর্যায় সরণীতে কোন মৌলের যে স্থানাঙ্ক, তাহাই ঐ মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা। যেমন, সারণীর সর্বপ্রথম স্থান হাইড্রোজেনের, আবার হাইড্রোজেনের পারমাণবিক সংখ্যা 1; দ্বিতীয় স্থান হিলিয়ামের এবং হিলিয়ামের পারমাণবিক সংখ্যা 2; এইভাবে সর্বাপেক্ষা ভারী মৌল ইউরেনিয়ামের স্থানাঙ্ক 92 এবং উহার পারমাণবিক সংখ্যাও 92।

সাধারণত পারমাণবিক সংখ্যাকে Z অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। অতএব, বলা যায়, Z=পরমাণুর ইলেকট্রন সংখ্যা। যেহেতু প্রত্যেক পরমাণুতে সমসংখ্যক প্রোটন ও ইলেকট্রন থাকে, সেইহেতু Z=পরমাণুর নিউক্লীয়াসস্থিত প্রোটন সংখ্যা। ইহা হইতে আমরা বলিতে পারি, পরমাণুর নিউক্লীয়াসস্থিত নিউট্রনের সংখ্যা=$A-Z$; কাজেই দেখা যাইতেছে, কোন পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা ও ভরসংখ্যা জানা থাকিলে, উহার গঠন সম্পর্কে আমরা সকল কথা জানিতে পারি।

কোন পরমাণুকে অঙ্কপাতনের (notation) দ্বারা প্রকাশ করিবার জন্য যে প্রতীক ব্যবহার করা হয় তাহা হইল $_ZX^A$—এক্ষেত্রে পরমাণুটি যে মৌল বুঝায় X সেই মৌলের রাসায়নিক সংকেত; A হইল ঐ পরমাণুর ভরসংখ্যা এবং Z পারমাণবিক সংখ্যা। সুতরাং ঐ পরমাণুতে Z সংখ্যক ইলেকট্রন, পরমাণুর নিউক্লীয়াসে Z সংখ্যক প্রোটন এবং $(A-Z)$ সংখ্যক নিউট্রন আছে। যেমন, $_{17}Cl^{35}$, $_{10}Ne^{20}$, $_{13}Al^{27}$ ইত্যাদি। এসকল ক্ষেত্রে Cl হইল ক্লোরিণ পরমাণু—ইহার 17টি ইলেকট্রন এবং 17টি প্রোটন ও $(35-17)=18$টি নিউট্রন আছে। তেমনি, Al হইল অ্যালুমিনিয়াম পরমাণু—ইহার 13টি ইলেকট্রন ও 13টি প্রোটন এবং $(27-13)=14$টি নিউট্রন আছে।

Exercises

1. পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনশৈলী সম্পর্কে যাহা জান লেখ। রাদারফোর্ড কিভাবে 'নিউক্লীয়াসের' অবতারণা করেন? পরমাণুর গঠন ও সৌরজগতের গঠনের ভিতর কি সাদৃশ আছে?

2. পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনশৈলী সম্পর্কে বোরের অবদান কি? 'ভ্যালেন্স ইলেকট্রন' কাহাকে বলে?

3. প্রতিপ্রভা ও অনুপ্রভা বলিতে কি বোঝ? কয়েকটি প্রতিপ্রভ ও অনুপ্রভ পদার্থের নাম লেখ।

4. ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুযায়ী পরিবাহী, অন্তরক ও অর্ধপরিবাহীর ভিতর পার্থক্য কি? N-টাইপ এবং P-টাইপ অর্ধপরিবাহী কাহাকে বলে?

5. P-N অর্ধপরিবাহীদ্বয়ের সংযোগ ও ডায়োড ভালভের সাদৃশ্য এবং ট্রানজিস্টারের ও ট্রায়োড ভালভের সাদৃশ্য উল্লেখ কর।

6. ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র কাহাকে বলে? ইহার সাহায্যে টমসন কিরূপে অতেজস্ক্রিয় মৌলে সমস্থানিকের উপস্থিতি প্রমাণ করেন?

7. নিউক্লীয়াসের গঠন সম্পর্কে নাতিদীর্ঘ প্রবন্ধ লেখ। পদার্থ গঠনের মূল উপাদান কি কি?

8. নিম্নে কতকগুলি পরমাণুর অঙ্কপাতন দেওয়া হইল। উহা হইতে পরমাণুগুলির ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা নির্ধারণ কর ঃ—

(i) $_8C^{12}$ (ii) $_{88}Ra^{226}$ (iii) $_7N^{14}$ (iv) $_8O^{16}$

9. দুই ধরনের পরমাণুর পারমাণবিক ভর ভিন্ন কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা সমান। উহাদের মধ্যে (i) সমসংখ্যক নিউট্রন ও সমসংখ্যক প্রোটন আছে (ii) সমসংখ্যক প্রোটন কিন্তু ভিন্ন সংখ্যার নিউট্রন আছে (iii) সমসংখ্যক নিউট্রন কিন্তু ভিন্ন সংখ্যার প্রোটন আছে। কোনটি ঠিক?

10. পারমাণবিক ভর, ভর সংখ্যা এবং পারমাণবিক সংখ্যা—এই তিনটি রাশি উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা কর।

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

তেজস্ক্রিয়া

(Radioactivity)

5·1. **তেজস্ক্রিয়ার আবিষ্কার** (Discovery of radioactivity) : 1896 খ্রীষ্টাব্দে (এক্সরশ্মি আবিষ্কারের কয়েক মাস পরে) হেনরী ব্যাকারেল নামে একজন ফরাসী বিজ্ঞানী সর্বপ্রথম তেজস্ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। এই আবিষ্কার সম্পূর্ণ আকস্মিক, কারণ ব্যাকারেল এক্সরশ্মি সংক্রান্ত সম্পূর্ণ এক ভিন্ন বিষয় লইয়া গবেষণা করিতেছিলেন যাহার সহিত তেজস্ক্রিয়ার কোন সম্বন্ধ ছিল না; কিন্তু তিনি সহসা সন্ধান পাইলেন সম্পূর্ণ নতুন এক ঘটনার। এক্সরশ্মি কাচে পড়িলে কাচে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি হয়; আবার এমন কতকগুলি বস্তু আছে যাহাদের সূর্যরশ্মিতে রাখিলে উহারা অনুপ্রভ হয়। ইউরেনিয়াম-পটাসিয়াম সালফেট ঐরূপ একটি বস্তু। ইহার অনুপ্রভার সহিত এক্সরশ্মি সৃষ্ট প্রতিপ্রভার কোন মিল আছে কিনা—ইহাই ছিল ব্যাকারেলের অনুসন্ধানের বিষয়। একদিন তিনি ইউরেনিয়াম-পটাসিয়াম সালফেটের একটি টুকরা লইয়া কাজ করিবেন বলিয়া মনস্থ করিলেন। কিন্তু ঐ দিন আকাশ মেঘাচ্ছন্ন থাকায় রৌদ্র পাওয়া গেল না। তিনি ঐ টুকরাকে একটি কালো কাগজে মুড়িয়া ড্রয়ারে রাখিয়া দিলেন। ড্রয়ারে কালো কাগজে মোড়া কতকগুলি ফটোগ্রাফী প্লেটও ছিল। কিছুদিন বাদে ড্রয়ার খুলিয়া ঐ সকল জিনিস বাহির করিয়া তিনি দেখিতে পান যে, কালো কাগজে মোড়া থাকা সত্ত্বেও ফটোগ্রাফী প্লেটের উপর প্রতিক্রিয়া হইয়াছে যদিও ইউরেনিয়াম-পটাসিয়াম সালফেট টুকরাকে রৌদ্রে রাখিয়া উদ্দীপিত করা হয় নাই। তখন, ব্যাকারেল এই সিদ্ধান্তে আসিলেন যে ইউরেনিয়ামের ঐ টুকরা অন্ধকারেও শক্তিশালী রশ্মি বিকিরণ করে যাহা কালো কাগজের আবরণকে ভেদ করিতে সক্ষম। ইহার পর তিনি এই সম্পর্কে আরো কিছু পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন এবং তাঁহার সিদ্ধান্ত নির্ভুল বলিয়া প্রতিপন্ন করেন। প্রথমে এই রশ্মিকে ব্যাকারেলের নামে "ব্যাকারেল রশ্মি" বলা হইয়াছিল; পরে ইহার নাম পরিবর্তন করিয়া "তেজস্ক্রিয় রশ্মি" রাখা হয় এবং ঘটনার নামকরণ করা হয় **তেজস্ক্রিয়া।**

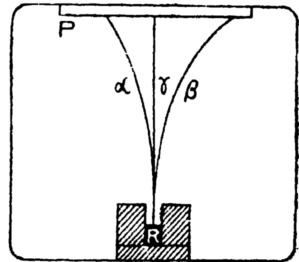
ব্যাকারেলের এই অভিনব আবিষ্কারে বিজ্ঞানীমহলে খুব সাড়া পড়িয়া গেল। প্যারিসে মাদাম মারী কুরী এবং তাঁহার স্বামী পিয়ের কুরী বিভিন্ন পদার্থ লইয়া পরীক্ষা করিয়া দেখেন যে থোরিয়াম-ঘটিত সকল বস্তুই ইউরেনিয়ামের ন্যায় রশ্মি বিকীর্ণ করে। কিন্তু ইউরেনিয়ামের একটি আকরিক —নাম পিচ ব্লেণ্ড (pitchblende)—এই বিষয়ে খুবই তেজোময়। এই কথা জানিতে পারিয়া তদানীন্তন অস্ট্রীয় সরকার বোহেমিয়ার ইউরেনিয়াম শোধনাগার হইতে গবেষণার উদ্দেশ্যে কুরী-দম্পতীকে এক টন পিচব্লেণ্ড উপহার দেন। বহুদিন যাবৎ অক্লান্ত পরিশ্রমের পর তাঁহারা ঐ পিচব্লেণ্ড হইতে অজ্ঞাতপূর্ব এক তেজস্ক্রিয় পদার্থের সামান্য পরিমাণ নিষ্কাশন করিতে সমর্থ হন। মাদাম কুরীর স্বদেশ পোলাণ্ডের নামে এই নতুন তেজস্ক্রিয় পদার্থের নাম দেওয়া হইল **পোলোনিয়াম** (Polonium)। তাঁহারা তাঁহাদের গবেষণা কার্য চালাইয়া 1902

খ্রীষ্টাব্দে আর একটি নতুন মৌল আবিষ্কার করেন যাহার তেজস্ক্রিয়া ইউরেনিয়ামের প্রায় দশ লক্ষ গুণ বেশী। তাঁহারা এই পদার্থের নাম দিলেন **রেডিয়াম** (Radium)। উল্লেখযোগ্য যে এই আবিষ্কারের জন্য কুরী-দম্পতী 1903 সালে নোবেল পুরস্কার পান।

পরবর্তীকালে, আরও অনেক তেজস্ক্রিয় বস্তুর সন্ধান পাওয়া গিয়াছে।

5·2. **তেজস্ক্রিয় পদার্থ নির্গত রশ্মির প্রকৃতি** (Nature of the rays emitted by radioactive substances) : তেজস্ক্রিয় রশ্মি যে-সকল প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে যেমন, ভেদনক্ষমতা (penetrating power), প্রতিপ্রভ পর্দাতে স্ফুলিঙ্গায়ন, ফটোগ্রাফী প্লেটে প্রতিক্রিয়া ইত্যাদি প্রয়োগ করিয়া বিভিন্ন বিজ্ঞানী তেজস্ক্রিয় রশ্মির প্রকৃতি বিশ্লেষণে সচেষ্ট হইয়াছিলেন। 1899 খ্রীষ্টাব্দে রাদারফোর্ড এবং তাঁহার সহযোগীরা ইউরেনিয়াম নির্গত তেজস্ক্রিয় রশ্মির আয়নয়ন ক্ষমতা পর্যালোচনা করিয়া দেখিতে পান যে ইহাতে দুই ধরনের রশ্মি আছে—একটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত এবং অপরটি ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত। প্রথমটির তিনি নাম দিলেন **আলফা রশ্মি** (α-rays) এবং দ্বিতীয়টির **বিটা রশ্মি** (β-rays)। তিনি ইহাও লক্ষ্য করেন যে আলফা অপেক্ষা বিটারশ্মির ভেদনক্ষমতা 100 গুণ। 1900 খ্রীষ্টাব্দে ভিলার্ড তেজস্ক্রিয় রশ্মির ভিতর আলফা এবং বিটারশ্মি ছাড়া এক্সরশ্মির সমগোত্রীয় আর একপ্রকার রশ্মির সন্ধান পান। তিনি ইহার নামকরণ করেন **গ্যামা রশ্মি** (γ-rays)।

তেজস্ক্রিয় বিকিরণে এই তিনপ্রকার রশ্মির অস্তিত্ব নিঃসন্দেহে প্রমাণ করার জন্য মাদাম কুরী একটি সহজ পরীক্ষা-ব্যবস্থার উদ্ভাবন করেন। 5·1 নং চিত্রে ইহা দেখানো হইয়াছে। একটি সীসার ব্লককে সরু লম্বা ছিদ্র করিয়া ঐ ছিদ্রের মধ্যে কিছু রেডিয়াম-ঘটিত তেজস্ক্রিয় পদার্থ R রাখা হইল। ঐ পদার্থ হইতে লম্বা ছিদ্র দিয়া সরু তেজস্ক্রিয় বিকিরণ সূক্ষ্ম রশ্মির আকারে নির্গত হইবে। ছিদ্র হইতে সামান্য দূরে একখানি ফটোগ্রাফী প্লেট P এমনভাবে রাখা আছে যাহাতে রশ্মি ঐ প্লেটের উপর পড়িতে পারে। সমগ্র জিনিসটিকে একটি বায়ুনিরুদ্ধ প্রকোষ্ঠে আবদ্ধ রাখা হয় এবং পাম্পের সাহায্যে প্রকোষ্ঠের সমস্ত বায়ু নিষ্কাশন করা হয়। কাগজের তলের অভিলম্বভাবে এবং সম্মুখ হইতে পশ্চাতের দিকে তীব্র চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয়।



চিত্র 5·1

এইভাবে ফটোগ্রাফী প্লেটের উপর বেশ কিছুক্ষণ রশ্মি পড়িতে দিলে এবং পরে প্লেটকে ডেভেলপ করিলে, প্লেটে তিনটি দাগ স্পষ্ট দেখিতে পাওয়া যায়। ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে, মূল-বিকিরণে তিন প্রকারের রশ্মি আছে। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে একদল রশ্মিকণা দক্ষিণদিকে এবং একদল বাম দিকে বাঁকিয়া যায় এবং তৃতীয় দল বিচ্যুত না হইয়া সরাসরি সোজা পথে চলিয়া যায়। যে দুই দল বিচ্যুত হইল নিঃসন্দেহে উহারা তড়িৎগ্রস্ত কণিকা দ্বারা গঠিত এবং তৃতীয় দল নিস্তড়িৎ। তাছাড়া, দক্ষিণ দিকের কণাগুলির বক্রতা বেশী এবং বামদিকের কণাগুলির বক্রতা কম। ইহা হইতে বলা যায়, দক্ষিণদিকের কণাগুলি অপেক্ষা বামদিকের কণাগুলি বেশী ভারী। তাছাড়া,

চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ, কণাগুলির গতির প্রারম্ভিক অভিমুখ এবং বিচ্যুতির অভিমুখ লক্ষ্য করিয়া সহজে বলা যায় যে ঐ দুই দল কণার তড়িৎ ধনাত্মক ও ঋণাত্মক। এইভাবে পরীক্ষার দ্বারা মাদাম কুরী প্রমাণ করেন যে, দক্ষিণ দিকের বেশী বক্রতাযুক্ত কণাগুলি ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত বিটা কণা, বামদিকের অপেক্ষাকৃত কম বক্রতাযুক্ত কণাগুলি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত আলফা কণা এবং মাঝের অবিচ্যুত রশ্মি—যাহার নাম গ্যামা রশ্মি—সাধারণ আলো বা এক্সরশ্মির ন্যায় তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ।

5·3. তেজস্ক্রিয় রশ্মিসমূহের ধর্মাবলী (Properties of radioactive rays) :

আলফা রশ্মির ধর্মাবলী :

(i) তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে আলফাকণাগুলি প্রচণ্ড বেগে নির্গত হয়। বিভিন্ন বস্তু হইতে নির্গত আলফা কণার বেগ বিভিন্ন। এই বেগ $1\cdot4\times10^9$ cm./sec হইতে $1\cdot7\times10^9$ cm/sec পর্যন্ত হয়।

(ii) জিঙ্ক সালফাইড প্রভৃতি কয়েকটি বস্তুতে আলফা কণা প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে। এই প্রতিপ্রভা একটানা আলোকের ন্যায় না হইয়া ছাড়া ছাড়া স্ফুলিঙ্গায়নের (scintillation) মত হয়। ইহা প্রমাণ করে আলফা রশ্মি কতকগুলি কণার সমষ্টি।

(iii) আলফা কণা ফটোগ্রাফী প্লেটে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে।

(iv) ইহারা তীব্র আয়নয়ন সৃষ্টি করিতে পারে। বায়ুতে আয়নয়ন সৃষ্টি করিলে, দেখা যায় যে একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব যাইবার পর ইহার আয়নয়ন ক্ষমতা লোপ পায়। ঐ দূরত্বকে আলফা-কণার পাল্লা (range) বলা হয়। বিভিন্ন বস্তু হইতে নির্গত আলফাকণার পাল্লা বিভিন্ন।

(v) ইহারা সহজেই বস্তু দ্বারা শোষিত হয়। যেমন, 0·1 mm. পুরু অ্যালুমিনিয়াম পাত একটি আলফাকণাকে শোষণ করিয়া লইবার পক্ষে যথেষ্ট।

(vi) খুব পাতলা ধাতব পাত অথবা অভ্রের পাতের ভিতর দিয়া যাইবার সময় আলফা কণাগুলির চতুর্দিকে বিক্ষেপণ (scattering) হয়।

(vii) চৌম্বক ক্ষেত্র এবং তড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারা এই রশ্মি বিক্ষিপ্ত হয়। ইহা প্রমাণ করে রশ্মির কণাগুলি তড়িৎগ্রস্ত। বিক্ষেপের অভিমুখ হইতে জানা যায় যে এই তড়িৎ ধনাত্মক।

বিটা রশ্মির ধর্মাবলী :

(i) চৌম্বক ক্ষেত্র এবং তড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারা এই রশ্মি বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষেপের অভিমুখ হইতে জানা যায় যে এই তড়িৎ ঋণাত্মক। বস্তুত এই রশ্মির কণাগুলি দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন।

(ii) তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে বিটা কণাগুলি প্রচণ্ড বেগ লইয়া নির্গত হয়। এই গতিবেগের পরিমাণ আলোর গতিবেগের 0·3 হইতে 0·98 গুণ।

(iii) একই বেগ সম্পন্ন আলফাকণার তুলনায় বিটা কণার শক্তি কম ; তাই, বিটা কণা আলফা কণার মত তীব্র আয়নয়ন সৃষ্টি করিতে পারে না।

(iv) বায়ুতে বিটা কণাগুলির বিশেষ কোন পাল্লা পাওয়া যায় না ; আলফাকণার মত ইহাদের পথরেখা ঋজু নয় ; পথরেখাগুলি বাঁকা এবং অবিন্যস্ত।

(v) ফটোগ্রাফী প্লেটে ইহাদের প্রতিক্রিয়া আছে এবং এই প্রতিক্রিয়া আলফাকণার প্রতিক্রিয়া অপেক্ষা বেশী।

(vi) ইহাদের প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করিবার ক্ষমতা আছে।

(vii) আলফা কণার তুলনায় বিটা কণার ভেদনক্ষমতা বেশী। ইহারা প্রায় 1cm. পুরু অ্যালুমিনিয়াম পাত ভেদ করিতে পারে।

গ্যামা রশ্মির ধর্মাবলী ঃ

(i) খুব তীব্র চৌম্বক ক্ষেত্র বা তড়িৎ ক্ষেত্রের দ্বারাও এই রশ্মির কোন বিক্ষেপ সৃষ্টি করা যায় না। এই ঘটনা হইতে বোঝা যায় যে গ্যামা রশ্মির প্রকৃতি এক্সরশ্মির মত এবং ইহারা কোন তড়িৎগ্রস্ত কণা দ্বারা গঠিত নয়।

(ii) গ্যামা রশ্মির গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান—অর্থাৎ 3×10^{10} cm/sec।

(iii) গ্যামা রশ্মির ভেদনক্ষমতা অত্যন্ত বেশী। এই রশ্মি শোষিত না হইয়া কয়েক সেন্টিমিটার পুরু সীসার পাত ভেদ করিয়া যাইতে পারে।

(iv) গ্যামা রশ্মির আয়নয়ন ক্ষমতা আছে—তবে তাহা খুব বেশী নয়।

(v) এই রশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে এবং ফটোগ্রাফী প্লেটে ইহার প্রতিক্রিয়া আছে।

(vi) গ্যামা রশ্মির প্রতিফলন, প্রতিসরণ প্রভৃতি সকল আলোকীয় ধর্মাবলীই আছে। প্রকৃতপক্ষে, ইহা আলোর সমগোত্রীয় তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ; তবে ইহার তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুব ক্ষুদ্র।

5·4 তেজস্ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য (Characteristics of radioactivity) ঃ তেজস্ক্রিয়া আবিষ্কৃত হইবার পর বিভিন্ন বিজ্ঞানীর প্রাথমিক পর্যালোচনা হইতে এই ঘটনার কতকগুলি বৈশিষ্ট্য লক্ষিত হইয়াছে। বৈশিষ্ট্যগুলি নিম্নরূপ ঃ

(ক) তেজস্ক্রিয়া সম্পূর্ণরূপে একটি নিউক্লীয় ঘটনা (nuclear phenomenon) এবং ইহার সহিত নিউক্লীয়াস বহির্ভূত ইলেকট্রনের কোন সম্পর্ক নাই।

(খ) যে-সকল মৌলের পারমাণবিক ভার 206-এর বেশী কেবলমাত্র তাহারাই তেজস্ক্রিয়া প্রদর্শন করে।

(গ) তেজস্ক্রিয় বস্তুসমূহ হইতে যে বিকিরণ পাওয়া যায় তাহাতে তিনপ্রকারের রশ্মি আছে এবং ইহাদের বলা হয় আলফা, বিটা এবং গ্যামা রশ্মি।

(ঘ) তেজস্ক্রিয়া বস্তুত নিউক্লীয়াসের ভাঙ্গন (disintegration) এবং ইহার ফলে, একটি মৌল সম্পূর্ণ নতুন মৌলে রূপান্তরিত হয়।

(ঙ) তেজস্ক্রিয়া সম্পূর্ণ স্বতঃস্ফূর্ত ঘটনা; বাহিরের কোন প্রক্রিয়া অর্থাৎ উত্তপ্তকরণ, শীতলীকরণ, চাপ প্রদান, তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রয়োগ ইত্যাদি কোন রকম বাহ্য প্রক্রিয়াই ইহাকে প্রভাবিত করে না।

5·5 তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গন; অর্ধায়ু (Radioactive decay; half life) ঃ তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুগুলি স্থায়ী নয়; ইহারা ভঙ্গুর। পরমাণুগুলি ভাঙিয়া পড়িবার সময় আলফা অথবা বিটা কণা নিঃসরণ করে। এইরূপ বিটা অথবা আলফা কণার নিঃসরণের ফলে

নিউক্লীয়াসে যে শক্তি-পরিবর্তন হয় তাহার ফলে গ্যামা রশ্মি নির্গত হয়। কিন্তু কোন বিশেষ পরমাণু কখন ভাঙ্গিবে এবং কেন ভাঙ্গিবে তাহা নির্দিষ্ট করিয়া বলা যায় না। এই ভাঙ্গন সম্পূর্ণ দৈবঘটনা (chance incidence)। কোন তেজস্ক্রিয় মৌল যখন ভাঙ্গিয়া পড়ে তখন যে নতুন মৌল তৈরী হয় তাহা তেজস্ক্রিয় হইলে তাহাও নিজস্ব ভাঙ্গন-রীতি অনুযায়ী ভাঙ্গিয়া যাইবে এবং এইভাবে ভাঙ্গিতে ভাঙ্গিতে অবশেষে স্থায়ী এবং অতেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত হইবে। দেখা যায় যে এই স্থায়ী মৌল সর্বক্ষেত্রে সীসার সমস্থানিক।

যেহেতু একটি আলফা কণা দুইটি প্রোটন ও দুইটি নিউট্রন দ্বারা গঠিত সেইহেতু কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের ভাঙ্গনে একটি আলফা কণা নির্গত হইলে, নতুন যে মৌল গঠিত হইবে তাহার ভরসংখ্যা আদি মৌলের ভর-সংখ্যা অপেক্ষা চার একক কম হইবে এবং পারমাণবিক সংখ্যা দুই একক কম হইবে। যেমন, $_{88}Ra^{226} \underset{\alpha}{\rightarrow} {}_{86}Rn^{222} \underset{\alpha}{\rightarrow} {}_{84}RaA^{218}$

রেডিয়াম (Ra) পরমাণু ভাঙ্গিয়া রেডন (Rn) পরমাণু গঠিত হইতেছে এবং আলফা কণা নির্গত হইতেছে বলিয়া রেডনের ভরসংখ্যা (222) রেডিয়ামের ভরসংখ্যা (226) অপেক্ষা 4 একক কম এবং পারমাণবিক সংখ্যা (86) রেডিয়ামের পারমাণবিক সংখ্যা (88) হইতে 2 একক কম। একই ভাবে আলফা কণা নির্গত করিয়া যখন রেডন রেডিয়াম-A পরমাণুতে পরিণত হয় তখন ভরসংখ্যা এবং পারমাণবিক সংখ্যা যথাক্রমে 4 এবং 2 একক কমিয়া যায়।

অপরপক্ষে বিটা কণা নির্গত করিয়া কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের ভাঙ্গন হইলে নতুন মৌলের ভর-সংখ্যার কোন পরিবর্তন হয় না কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা 1 একক বৃদ্ধি পায়। ইহার কারণ এই যে, একটি নিউট্রন একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রনের সমবায়ে গঠিত ধরা হয় ($n^{\circ} \rightarrow p^{+} + e^{-}$)। যখন ঐ ইলেকট্রনটি বিটাকণারূপে নির্গত হয় তখন নতুন পরমাণুর নিউক্লীয়াসে একটি বাড়তি প্রোটন নিউট্রনের পরিবর্তে স্থান পায়; ফলে নতুন পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা (নিউ-ক্লীয়াসে অবস্থিত প্রোটন সংখ্যার দ্বারা ইহা নির্ধারিত হয়) 1 একক বৃদ্ধি পায়। যেহেতু বিটা কণার ভর অতি নগণ্য তাই বিটা কণার নির্গমণে নতুন নিউক্লীয়াসের ভরের কোন পরিবর্তন হয় না। যেমন $_{82}RaB^{214} \underset{\beta}{\rightarrow} {}_{83}RaC^{214}$

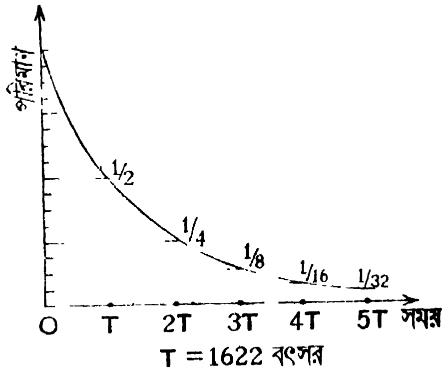
কাজেই, Ra হইতে RaC পর্যন্ত ভাঙ্গনের পূর্ণ শৃঙ্খল নিম্নলিখিতভাবে দেখানো যাইতে পারে

$$_{88}Ra^{226} \underset{\alpha}{\rightarrow} {}_{84}Rn^{222} \underset{\alpha}{\rightarrow} {}_{84}RaA^{218} \underset{\alpha}{\rightarrow} {}_{82}RaB^{214} \underset{\beta}{\rightarrow} {}_{83}RaC^{214}$$

এইভাবে ভাঙ্গনের শৃঙ্খল চলিতে থাকিবে যতক্ষণ না স্থায়ী মৌলে অর্থাৎ সীসার সমস্থানিকে (পারমাণবিক সংখ্যা=82) পরিণত হইবে।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, প্রত্যেক তেজস্ক্রিয় মৌলই একটি নির্দিষ্ট হারে ভাঙ্গে বা ক্ষয়-প্রাপ্ত হয় যাহা ঐ মৌলের **অর্ধায়ু** (half life) দ্বারা প্রকাশ করা যাইতে পারে। কোন তেজস্ক্রিয় বস্তুর অর্ধায়ু বলিতে এমন সময় বুঝায় যে-সময়ে ঐ বস্তুর পরমাণুগুলি ভাঙ্গিয়া প্রারম্ভিক সংখ্যার অর্ধেকে গিয়া পৌঁছায়। যেমন রেডিয়ামের অর্ধায়ু 1622 বৎসর। সুতরাং 1 গ্রাম

রেডিয়াম লইয়া আজ পর্যবেক্ষণ সুরু করিলে 1622 বৎসর পরে 0·5 gm. থাকিবে। আরও 1622 বৎসর পরে 0·5 gm. রেডিয়ামের অর্ধেক ক্ষয় হইয়া 0·25 gm. থাকিবে এবং এইরূপে ক্ষয় চলিতে থাকিবে। লেখচিত্রের সাহায্যে রেডিয়ামের এই ভাঙ্গনের হার প্রকাশ করিলে উহা 5·2 নং চিত্রের মত হইবে। লেখচিত্র হইতে বোঝা যায় বস্তু সম্পূর্ণভাবে ক্ষয় হইয়া নিঃশেষিত হইতে অসীম সময়ের প্রয়োজন। বলাবাহুল্য যে, প্রত্যেক তেজস্ক্রিয় বস্তুর ক্ষয়-লেখচিত্র (decay curve) একই রকম; তবে বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় বস্তুর অর্ধায়ু বিভিন্ন। রেডিয়ামের অর্ধায়ু প্রায় 1622 বৎসর কিন্তু রেডিয়ামের ভাঙ্গনে যে তেজস্ক্রিয় বস্তু পাওয়া যায়—ইহার নাম রেডন—তাহার অর্ধায়ু মাত্র 4 দিন।



চিত্র 5·2

[ধর, সুরুতে ($t=0$) কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণু সংখ্যা $=N_0$

t সেকেণ্ড পরে ঐ মৌলের পরমাণু সংখ্যা $=N$

t সেকেণ্ড পরে এক ক্ষুদ্র অবকাশ dt সময়ে যে অল্প সংখ্যক পরমাণুর ভাঙ্গন হইল তাহা $=dN$ অতএব, ভাঙ্গনের হার $=\frac{dN}{dt}$

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, ভাঙ্গনের হার ঐ সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণুর সংখ্যার সমানুপাতিক। কাজেই, $\frac{dN}{dt} \propto N$ অথবা $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ এস্থলে λ একটি ধ্রুবরাশি এবং ইহাকে বলা হয় ঐ বস্তুর **ক্ষয়-ধ্রুবক** (decay constant)। উক্ত সমীকরণে ঋণাত্মক চিহ্ন লওয়া হইয়াছে কারণ যত সময় যায় তত পরমাণুর সংখ্যা ক্ষয়প্রাপ্ত হয়—অর্থাৎ t বৃদ্ধি পাইলে N হ্রাস পায়।

$$\therefore \quad \frac{dN}{N} = -\lambda\, dt \quad \text{ইন্টিগ্রেট করিলে পাই,} \int \frac{dN}{N} = \int -\lambda dt$$

অথবা, $\log_e N = -\lambda t + k$ .. (i) [k=ইন্টিগ্রেশান ধ্রুবক]

এখন আমরা জানি, যখন $t=0$ তখন $N=N_0$, কাজেই $\log_e N_0 = k$

ইন্টিগ্রেশান ধ্রুবকের এই মান (i) নং সমীকরণে বসাইলে পাই, $\log_e N = -\lambda t + \log_e N_0$

$$\text{অথবা, } \log_e \frac{N}{N_0} = -\lambda t \text{ অথবা } \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \text{ অথবা } N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad \text{(ii)}$$

এই সমীকরণ হইতে বোঝা যায় যে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙ্গন সূচকীয় সূত্র (exponential law) মানিয়া চলে। ইহা 5·2 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

ধর, কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু $=T$; (ii) নং সমীকরণ হইতে আমরা t সময়ে অক্ষত পরমাণুর যে-সংখ্যা পাই, তাহা $N=N_0e^{-\lambda t}$

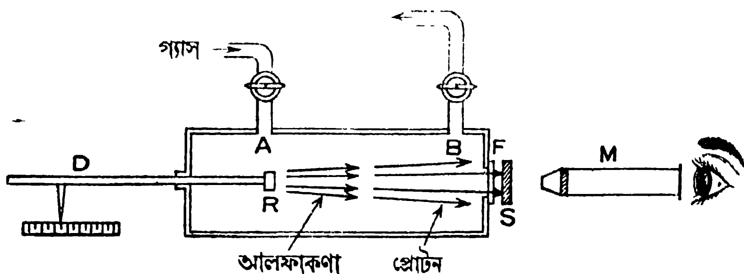
এখন, অর্ধায়ুর সংজ্ঞা অনুযায়ী যখন $t=T$ তখন $N=N_0/2$

$$\text{অতএব,} \quad \frac{N_0}{2}=N_0e^{-\lambda T} \text{ অথবা } \tfrac{1}{2}=\frac{1}{e^{\lambda T}}$$

$$\therefore \quad e^{\lambda T}=2 \text{ অথবা } T=\frac{\log_e 2}{\lambda}=\frac{0{\cdot}693}{\lambda}$$

অতএব, কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু উহার ক্ষয়-ধ্রুবকের (λ) ব্যস্তানুপাতিক।]

5·6. **কৃত্রিম মৌলান্তর** (Artificial transmutation) : এক মৌলকে অন্য মৌলে রূপান্তরিত করাকে মৌলান্তর বলা হয়। প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়া (natural radio-activity) মৌলান্তরের একটি দৃষ্টান্ত। কৃত্রিম উপায়ে মৌলান্তর করিতে পারিলে তাহাকে কৃত্রিম মৌলান্তর বলা হইবে। কৃত্রিম মৌলান্তরের প্রচেষ্টা বহু প্রাচীন কাল হইতেই চলিয়া আসিতেছে। মধ্যযুগে একদল লোক—যাহাদের বলা হইত কিমিয়া-বিশারদ (alchemist)—এই সম্পর্কে বহু চেষ্টা করিয়াছিলেন। তাঁহাদের ধারণা ছিল যে এমন একটি পরশপাথর আছে যাহার স্পর্শে লোহার ন্যায় নিকৃষ্ট ধাতু সোনার মত উৎকৃষ্ট বা বহুমূল্য ধাতুতে রূপান্তরিত হইবে। পদার্থের গঠনতত্ত্ব সম্বন্ধে তাঁহাদের ধারণা অস্পষ্ট থাকায় তাঁহাদের সে চেষ্টা সফল হয় নাই। কালক্রমে বিজ্ঞানের অগ্রগতির সঙ্গে সঙ্গে—বিশেষ করিয়া তেজস্ক্রিয়া আবিষ্কারের পর বিজ্ঞানীরা উপলব্ধি করিলেন যে পরমাণুর স্বকীয় বৈশিষ্ট্য উহার নিউক্লীয়াসে নিহিত এবং নিউ-ক্লীয়াসকে কৃত্রিম উপায়ে ভাঙ্গিতে পারিলেই কৃত্রিম মৌলান্তর সম্ভব হইবে। তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে নির্গত আলফা কণার প্রচণ্ড গতিবেগ লক্ষ্য করিয়া লর্ড রাদারফোর্ড সর্বপ্রথম আলফা কণাকে নিউ-



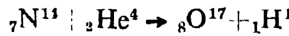
চিত্র 5·3

ক্লীয়াস ভাঙার কাজে হাতিয়ার হিসাবে ব্যবহার করিবার মনস্থ করেন। অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষার পর 1919 খ্রীষ্টাব্দে তিনি সর্বপ্রথম কৃত্রিম উপায়ে মৌলান্তর ঘটাইয়া কিমিয়া বিশারদদের চির-জীবনের স্বপ্নকে সফল করেন। রাদারফোর্ডের পরীক্ষা-ব্যবস্থাটি 5·3 নং চিত্রে দেখানো হইল।

একটি ধাতব নলের একপ্রান্তে রূপার পাতলা পাতের (F) একটি জানালা আছে। একটি চলমান (movable) দণ্ডের (D) একপ্রান্তে আলফা কণার উৎস হিসাবে একটু রেডিয়াম

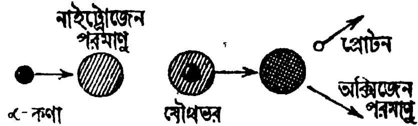
C′ জমা করা আছে (R)। মূলনলের সহিত দুইটি পার্শ্বনল A এবং B আছে। A নলের সাহায্যে মূলনলের ভিতর যে কোন গ্যাস ঢুকানো যায় এবং B নলের সাহায্যে ঐ গ্যাস মূলনল হইতে নিষ্কাশিত করা যায়। রূপার পাত ভেদ করিয়া কোন কণা চলিয়া আসিলে উহা একটি জিঙ্ক সালফাইড পর্দার (S) উপর পড়ে এবং স্ফুলিঙ্গায়ন (scintillations) সৃষ্টি করে। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের (M) সাহায্যে ঐ স্ফুলিঙ্গায়ন লক্ষ্য করা হয়।

রূপার পাত হইতে D-দণ্ডকে এমন দূরত্বে রাখা হইল যে R-উৎস নিঃসৃত আলফাকণা রূপার পাতে পেঁছাইতে না পারে। এই অবস্থায় রাদারফোর্ড নলে অক্সিজেন গ্যাস ঢুকাইলেন। তিনি পর্দায় কোন স্ফুলিঙ্গায়ন দেখিলেন না। তিনি, অবশ্য, স্ফুলিঙ্গায়ন আশাও করেন নাই কারণ তিনি বুঝিতে পারিয়াছিলেন যে, আলফা কণা অপেক্ষা অনেক ভারী অক্সিজেন-নিউক্লীয়াসকে আলফা কণা অত দূর ছিটকাইয়া দিতে পারিবে না। অতঃপর তিনি নলে নাইট্রোজেন প্রবেশ করাইলেন। সঙ্গে সঙ্গে প্রচুর স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি হইল। রাদারফোর্ড পরীক্ষা করিয়া দেখিলেন, যে-কণাগুলি জিঙ্ক সালফাইড পর্দায় আঘাত করিয়া স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি করিল তাহারা হাইড্রোজেন নিউক্লীয়াস —অর্থাৎ প্রোটন। কিন্তু অপদ্রব (impurities) হিসাবে যে সামান্য পরিমাণ হাইড্রোজেন নলে থাকার সম্ভাবনা তাহা অত বেশী সংখ্যার স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি করিতে পারে না। তবে ঐ প্রোটন আসিল কোথা হইতে? রাদারফোর্ড বলিলেন, অতি বেগবান আলফা কণা নাইট্রোজেন নিউক্লীয়াসকে আঘাত করিয়া ঐ প্রোটন ছিটকাইয়া বাহির করিয়া দিয়াছে এবং নাইট্রোজেন নিউক্লীয়াস নিজে মৌলান্তরিত হইয়া অক্সিজেন নিউক্লীয়াসে পরিণত হইয়াছে। এই ঘটনাকে নিম্নলিখিত নিউক্লীয় রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়ঃ



$${}_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{1}H^{1}$$

এক্ষেত্রে ${}_{2}He^{4}$ আলফা কণাকে বুঝাইতেছে কারণ আলফাকণা প্রকৃতপক্ষে হিলিয়াম পরমাণুর নিউক্লীয়াস এবং ${}_{1}H^{1}$ একটি প্রোটন কণা বুঝাইতেছে কারণ উহা হাইড্রোজেন নিউক্লীয়াস। তাছাড়া, ঐ সমীকরণ হইতে দেখা যায় বিক্রিয়ার পূর্বে ও পরে মোট ভর সমান কারণ $14+4=17+1$ এবং তড়িতাধানও সমান কারণ $7+2=8+1$; ব্যাখ্যা স্বরূপ বলা যায়, 7টি প্রোটন ও 7টি নিউট্রন সমন্বিত একটি নাইট্রোজেন নিউক্লীয়াসকে 2টি প্রোটন ও 2টি নিউট্রন সমন্বিত একটি আলফা কণা (হিলিয়াম নিউক্লীয়াস) আঘাত করিয়া একটি অস্থায়ী যৌথ ভর (collective mass) সৃষ্টি করে যাহাতে 9টি প্রোটন ও 9টি নিউট্রন জমা আছে। ইহা হইতে তখন একটি উচ্চ শক্তিযুক্ত প্রোটন (${}_{1}H^{1}$) ছুটিয়া বাহির হয় এবং নিজে মৌলান্তরিত হইয়া 17 ভরসংখ্যাযুক্ত অক্সিজেন সমস্থানিকে পরিণত হয় [চিত্র 5·4]।



চিত্র 5·4

এই পরীক্ষার পর রাদারফোর্ড এবং তাঁহার সহকর্মী স্যাডুইক আলফা কণার আঘাতে আরো অনেকগুলি মৌলের মৌলান্তর করেন।

5·7. **শক্তি ও ভরের তুল্যতা** (Equivalence of mass and energy) রাদারফোর্ডের নাইট্রোজেন-আলফা কণার উপরোক্ত বিক্রিয়ায় বলা হইয়াছে যে বিক্রিয়ার পূর্বে ও পরে মোট ভর সমান থাকে। কিন্তু ভরবর্ণালী বীক্ষণ যন্ত্র হইতে প্রাপ্ত নাইট্রোজেন, অক্সিজেন প্রভৃতির সঠিক ভর লইয়া হিসাব করিলে দেখা যায় যে বিক্রিয়ার পূর্বে ও পরে মোট ভর সমান থাকিতেছে না; প্রোটন ও অক্সিজেন পরমাণুর মোট ভর আলফাকণা ও নাইট্রোজেন পরমাণুর মোট ভর হইতে 0·0013 ভর একক (mass unit) বেশী হইতেছে। ভরের এই পার্থক্য খুবই সামান্য সন্দেহ নাই কিন্তু পরিমাপের ভুল বলিয়া ইহাকে নাকচ করিবারও উপায় নাই কারণ যে সূক্ষ্মতায় পরিমাপ করা হয় তাহাতে এতখানি ভুল হইবার কোন সম্ভাবনা নাই। তাছাড়া, ইহাও লক্ষ্য করা গেল যে বিক্রিয়ালব্ধ কণাদুইটির মোট গতিশক্তি বিক্রিয়ারত কণাদুইটির মোট গতিশক্তি হইতে সামান্য পরিমাণে কিন্তু সন্দেহাতীত রূপে (প্রায় 0·000002 আর্গ) কম।

বিশ্ববিশ্রুত বিজ্ঞানী আইনস্টাইন প্রস্তাবিত আপেক্ষিক তত্ত্ববাদ হইতে এই ঘটনার ব্যাখ্যা মেলে। এই তত্ত্ব অনুযায়ী ভর এবং শক্তি—যাহাদের এ পর্যন্ত বিজ্ঞানীরা সম্পূর্ণ আলাদা জিনিস বলিয়া গণ্য করিয়া আসিতেছিলেন—আলাদা নয়; যে কোন একটিকে অন্যটিতে রূপান্তরিত করা যায়। অবস্থানুযায়ী ভরকে শক্তিতে রূপান্তরিত করা সম্ভব, আবার বিপরীতক্রমে শক্তিকে 'জমাট' বাঁধাইয়া ভরে পরিণত করাও সম্ভব। এই দুইয়ের ভিতর যে সম্পর্ক তাহা নিম্নলিখিত বিখ্যাত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়: $E=mc^2$

এখানে E=আর্গে শক্তির পরিমাণ, m=গ্র্যাম এককে তুল্য ভরের পরিমাণ এবং c=সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড এককে আলোকের গতিবেগ।

এই সম্পর্ক হইতে আমরা বলিতে পারি যে যখনই উত্তপ্ত করিয়া, বা গতিশীল করিয়া অথবা অন্য যে-কোন উপায়ে বস্তুতে শক্তি সরবরাহ করা হয় তখন ঐ বস্তুর ভর বৃদ্ধি পাইবে। কিন্তু ঐ ধরনের সাধারণ প্রক্রিয়ায় ভর-বৃদ্ধি এত অল্প হয় যে তাহা উপলব্ধির ভিতরই আসে না। ভর-বৃদ্ধি অল্প হইবার কারণ শক্তিকে আলোকের গতিবেগের বর্গ দ্বারা ভাগ করিলে তুল্য ভর পাওয়া যায় এবং আলোকের গতিবেগের বর্গের মান 9×10^{20}। কিন্তু বিপরীতক্রমে, সামান্য পরিমাণ ভরের বিনাশে যে শক্তি পাওয়া যাইবে তাহা পরিমাণে প্রচণ্ড। এক টুকরা কয়লার সমস্ত পরমাণুকে বিনাশ করিলে যে পরিমাণ শক্তির উদ্ভব হইবে তাহা ঐ টুকরাকে দগ্ধ করিয়া যে শক্তি পাওয়া যায় তাহার প্রায় তিনশত কোটি গুণ। তবে ভরের সম্পূর্ণ বিনাশ সাধন এখনও সম্ভব হয় নাই; এমন কি পারমাণবিক বোমা বিস্ফোরণেও নয়।

এখন, পূর্বোক্ত নাইট্রোজেন-আলফা কণার বিক্রিয়ার কথায় আসা যাউক। ঐ বিক্রিয়ালব্ধ কণাদ্বয়ের যে শক্তির হ্রাস হইয়াছিল তাহা আইনস্টাইনের ভর ও শক্তি সম্পর্কিত সমীকরণ দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়। ঐ সমীকরণের সাহায্যে হ্রাস প্রাপ্ত শক্তিকে ভরে রূপান্তরিত করিলে উহা 0·0013 ভর এককের সমান হইবে, অর্থাৎ হ্রাসপ্রাপ্ত শক্তি বিক্রিয়ালব্ধ কণাদ্বয়ে ভরে রূপান্তরিত হইয়াছে। পরবর্তীকালে এই সমীকরণ আরো অনেক নিউক্লীয় পরিবর্তনে প্রযুক্ত হইয়া সত্য প্রমাণিত হইয়াছে এবং বর্তমানে ইহা অন্য যে কোন প্রমাণিত ও বহুল ব্যবহৃত সূত্রের ন্যায় সু-প্রতিষ্ঠিত।

আইনস্টাইনের ভর ও শক্তির তুল্যতা সমীকরণ হইতে আমরা নিউক্লীয়াসের বন্ধনশক্তির ব্যাখ্যা পাই। আমরা জানি হাইড্রোজেন ছাড়া যে কোন পরমাণুর নিউক্লীয়াসে একাধিক প্রোটন ও নিউট্রন আছে। নিউক্লীয়াসের অধিবাসী হিসাবে ইহাদের সাধারণ নাম **নিউক্লীয়ন** (nucleons)। বলা বাহুল্য নিউক্লীয়নগুলি প্রচণ্ড শক্তির দ্বারা পরস্পরের সঙ্গে আবদ্ধ। এই শক্তিকে নিউক্লীয়াসের **বন্ধনশক্তি** (binding energy) বলা হয়। প্রশ্ন এই যে নিউক্লীয়াসের এই বন্ধনশক্তি আসে কোথা হইতে?

যে কোন নিউক্লীয়াস পর্যালোচনা করিলে দেখা যায় যে, উহার ভর উহা যে কয়টি কণা দ্বারা গঠিত তাহাদের মুক্ত অবস্থায় (free state) মোট ভর অপেক্ষা কিছু কম। ভরের এই ঘাটতি সম্বন্ধে আইনস্টাইন বলেন যে কণাগুলি যখন একসঙ্গে জোট বাঁধিয়া নিউক্লীয়াস গঠন করে তখন কিছু শক্তি মুক্ত হয় এবং ঐ শক্তি আসে ভর-ঘাটতি হইতে। যদি m ভর-ঘাটতি হয় তবে যে পরিমাণ শক্তি মুক্ত হইবে তাহা $E=mc^2$ সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে [c=আলোকের গতিবেগ]। ইহাই নিউক্লীয়াসের বন্ধনশক্তিরূপে আত্মপ্রকাশ করে। বলা বাহুল্য, বন্ধনশক্তি বেশী হইলে নিউক্লীয়াস সুস্থিত হয় এবং বন্ধনশক্তি কম হইলে নিউক্লীয়াস অস্থায়ী হয়।

5·8. **তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক** (Radio-isotopes): মাদাম কুরীর কন্যা আইরিণ কুরী এবং তাঁহার স্বামী ফ্রেডরিক জোলিও দেখিতে পান যে অ্যালুমিনিয়ামকে আলফাকণা দ্বারা আঘাত করিলে পজিট্রন নির্গত হয়। পজিট্রন সর্ববিষয়ে ইলেকট্রনের অনুরূপ—একমাত্র তড়িতাধানের প্রকৃতি ছাড়া; অর্থাৎ ইলেকট্রনের তড়িতাধান ঋণাত্মক কিন্তু পজিট্রনের ধনাত্মক। এইজন্য ইহাকে অনেক সময় 'ধনাত্মক ইলেকট্রন'ও বলা হয়। কিন্তু পজিট্রন মোটেই স্থায়ী নয়; মুহূর্তের মধ্যে একটি ইলেকট্রনের সহিত যুক্ত হইয়া আইনস্টাইনের ভর ও শক্তির তুল্যতা সূত্রানুযায়ী বিকিরণ-ঝলক উৎপন্ন করিয়া নিঃশেষ হইয়া যায়। কিন্তু অ্যালুমিনিয়ামের পরীক্ষায় কুরী-দম্পতী লক্ষ্য করিলেন যে আলফাকণার স্রোত বন্ধ করিলেও অ্যালুমিনিয়াম হইতে পজিট্রন নিঃসরণ বন্ধ হয় না; কিছুক্ষণ যাবৎ চলিতে থাকে ঠিক যেমন প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে বিটা কণার নিঃসরণ কিছুক্ষণ যাবৎ চলে। তাঁহারা পুঙ্খানুপুঙ্খরূপে পরীক্ষা করিয়া দেখিলেন যে অ্যালুমিনিয়ামের কিছু কিছু পরমাণু আলফাকণার আঘাতে তেজস্ক্রিয় হইয়া পড়িয়াছে। এই ঘটনাকে **কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়া** (artificial radioactivity) এবং ঐ অ্যালুমিনিয়ামকে সাধারণ অ্যালুমিনিয়ামের **তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক** (radio-isotope) বা তেজস্ক্রিয় অ্যালুমিনিয়াম বলা হয়। কালক্রমে দেখা গেল যে শুধু অ্যালুমিনিয়াম নয় প্রায় সমস্ত অতেজস্ক্রিয় মৌলকে নানারকম শক্তিশালী কণাদ্বারা আঘাত করিয়া অথবা নিউক্লীয়ার রিয়্যাক্টরের বিকিরণে উন্মুক্ত করিয়া তেজস্ক্রিয় সমস্থানিকে রূপান্তরিত করা যায়। প্রকৃতপক্ষে সাম্প্রতিককালে বিজ্ঞানীরা নিউক্লীয়ার রিয়্যাক্টরের সহায়তায় শত শত তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক তৈরী করিতেছেন।

মানুষের কল্যাণে তেজস্ক্রিয় সমস্থানিকের অবদান অতুলনীয়। উদ্ভিদ বা জীবজন্তুর দেহের বিভিন্ন অংশে খাদ্য ও অন্যান্য তরল কি ভাবে ছড়াইয়া পড়ে তাহা পর্যবেক্ষণ করিবার জন্য তেজস্ক্রিয় সমস্থানিককে 'সন্ধানী মৌল' (tracer element) হিসাবে ব্যবহার করা হয়। খাদ্য লবণকে তেজস্ক্রিয় করিয়া কোন রোগীকে খাওয়াইলে উহা রোগীর দেহের বিভিন্ন অংশে কি ভাবে

যাইতেছে এবং কোথায় যাইতেছে তাহা শরীরের কাছাকাছি রাখা 'গাইগার গণক' (Geiger counter) দ্বারা সহজেই নির্ধারণ করা যায়। টিউমার ও অন্যান্য কয়েকটি রোগ উপশমে রেডিয়াম অথবা এক্স-রশ্মির বদলে কিছু কিছু তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক ব্যবহার করা হয়। এইরূপ ব্রেন টিউমার নির্ধারণে বিসমাথ-206, অ্যানিমিয়া নির্ণয়ে কোবাল্ট-58, টিউমার উপশমে কোবাল্ট-60, থাইরয়েড গণ্ডগোলে আইয়োডিন-31 ইত্যাদি তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক চিকিৎসকগণ ব্যবহার করেন।

চিকিৎসাবিদ্যা ছাড়া, শিল্পে ও কারিগরী বিদ্যায় তেজস্ক্রিয় সমস্থানিকের বহুল ব্যবহার আছে।

5·9. **নিউক্লীয় বিভাজন** (Nuclear fission) ঃ আলফাকণা, প্রোটন বা নিউট্রন দ্বারা যে সকল নিউক্লীয় ভাঙ্গন করা যায়, সেই সকল ভাঙ্গনকে বড় রকমের ভাঙ্গন (major disruption) বলা যায় না কারণ ঐ সকল ক্ষেত্রে নিউক্লীয়াস হইতে সামান্য একটু টুকরা ভাঙ্গিয়া পড়ে—গোটা নিউক্লীয়াসই প্রায় অক্ষত থাকিয়া যায়। এই সকল ভাঙ্গনে সর্বাপেক্ষা বড় চাক্লা যা পাওয়া যায় তাহা হইলে আলফা কণা। প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনেও ইহাই ঘটে। ফলে, এই সকল ভাঙ্গন হইতে নির্গত শক্তির পরিমাণ খুব বেশী হয় না। (1939 খ্রীষ্টাব্দে দুই জার্মান বিজ্ঞানী অটো হান্ ও স্ট্রাসম্যান ইউরেনিয়াম নিউক্লীয়াসের উপর নিউট্রনের সংঘাত পর্যবেক্ষণ করিতে গিয়া সবিস্ময়ে লক্ষ্য করেন যে নিউক্লীয়াসটি প্রায় সমান দুই টুকরাতে বিভক্ত হইয়া পড়িল। আঘাতকারী কণা হিসাবে নিউট্রন খুব উপযুক্ত কারণ ইহাতে কোন তড়িৎ না থাকায়, ইহা নিউক্লীয়াসের তড়িৎ দ্বারা বিকর্ষিত হইবে না। প্রায় সমান দুই টুকরায় নিউক্লীয়াসের এই ভাঙ্গনকে **নিউক্লীয় বিভাজন** (nuclear fission) আখ্যা দেওয়া হয়। এই বিভাজনের গুরুত্ব এই যে সাধারণ ভাঙ্গনের তুলনায় ইহাতে প্রায় দশগুণ বেশী শক্তি মুক্ত হয়। এই শক্তি উৎপন্ন হয় কারণ আঘাত প্রাপ্ত নিউক্লীয়াসের আদি ভর বিভাজন সৃষ্ট নতুন দুইটি নিউক্লীয়াসের যুক্ত ভর অপেক্ষা কিছু বেশী। এই অতিরিক্ত ভর আইনস্টাইন প্রদত্ত সমীকরণ $E=mc^2$ অনুযায়ী শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।)

এখন, ইউরেনিয়ামের প্রধানত দুইটি সমস্থানিক আছে। ইহার মধ্যে ইউরেনিয়াম—238 প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায় কিন্তু ইহা বিভাজনক্ষম নহে। অপর সমস্থানিক ইউরেনিয়াম—235 খুব অল্প পরিমাণে পাওয়া যায় কিন্তু ইহা সহজে বিভাজনক্ষম। আঘাতকারী নিউট্রন কণাটি ইউরেনিয়াম-235 নিউক্লীয়াসে ঢুকিয়া নিউক্লীয়াসের গঠনে প্রচণ্ড আলোড়নের সৃষ্টি করে। নিউক্লীয়াস ঐ আলোড়নের প্রভাবে প্রায় সমান দুইটি টুকরাতে ভাঙ্গিয়া পড়ে। এই বিভাজনকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় ঃ

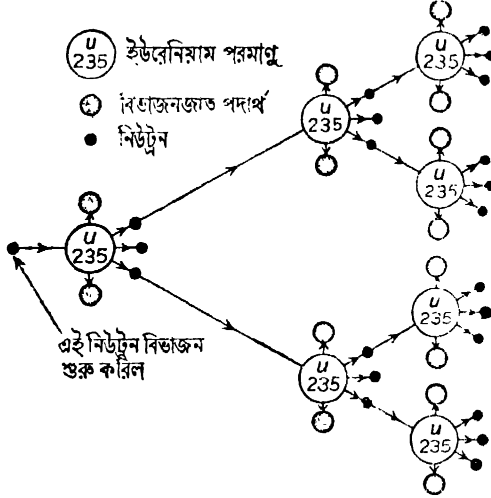


$$_{92}U^{235}+{_0}n^1 \rightarrow {_{56}}Ba^{141}+{_{36}}Kr^{92}+3{_0}n^1$$

এই সমীকরণ হইতে বোঝা যায় যে 1 ভরসংখ্যার একটি নিউট্রন ইউরেনিয়াম নিউক্লীয়াস ($_{92}U^{235}$)-কে বিভাজিত করিলে 141 ভরসংখ্যার বেরিয়াম এবং 92 ভরসংখ্যার ক্রিপটন নিউক্লীয়াস গঠিত হয় এবং ঐ সঙ্গে তিনটি নিউট্রন নির্গত হয়।

এই প্রক্রিয়ায় একটি উল্লেখযোগ্য বিষয় যে নিউক্লীয়াসের ভাঙ্গনের সঙ্গে সঙ্গে যে-কয়টি নিউট্রন নির্গত হয় তাহারা পার্শ্ববর্তী নিউক্লীয়াসের বিভাজন ঘটাইতে পারে। এইভাবে

পরপর নিউট্রনের নির্গমন এবং তাহা দ্বারা নতুন নিউক্লীয়াসের বিভাজনকে **শৃঙ্খল বিক্রিয়া** (chain reaction) বলে। ইহার ফলে অতি অল্প সময়ে প্রচুর পরিমাণ শক্তির উদ্ভব হইবে। 5·5 নং চিত্রে শৃঙ্খল বিক্রিয়ার একটি নক্শা দেখানো হইয়াছে। এ নক্শায় ধরিয়া লওয়া হইয়াছে যে বিভাজন-জাত তিনটি নিউট্রনের মধ্যে একটি শোষিত হইয়াছে এবং অপর দুইটি



চিত্র 5·5

শৃঙ্খল বিক্রিয়া বজায় রাখিয়াছে। একথা উল্লেখ করা প্রয়োজন যে শৃঙ্খল বিক্রিয়া চালু রাখিতে হইলে ইউরেনিয়াম টুকরার একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম সাইজ লইতে হইবে। ইহাকে বলা হয় সন্ধি-সাইজ (critical size)। ঐরূপ সাইজের টুকরা না লইলে, নিউট্রনগুলি বিভাজন সৃষ্টি না করিয়া ইউরেনিয়াম পিণ্ড হইতে নির্গত হইয়া যাইবে।

(হিসাব করিয়া দেখা যায় যে মাত্র এক পাউণ্ড ইউরেনিয়াম—235 বিভাজনের দ্বারা যে পরিমাণ শক্তি সৃষ্টি হয় তাহা বারুদ হইতে সৃষ্টি করিতে গেলে 10,000 টন বারুদের প্রয়োজন হইবে।) ইউরেনিয়াম বিভাজনকে সাফল্যের সহিত কাজে লাগাইয়া বিস্তৃত পরিসরে তাপশক্তি উৎপাদনের প্রথম প্রচেষ্টা করেন ইটালীর পদার্থবিদ এনারিকো ফেমি 1942 খ্রীষ্টাব্দে। উল্লেখযোগ্য যে এই অভাবনীয় পারমাণবিক শক্তিকে কাজে লাগাইয়া গত বিশ্ব মহাযুদ্ধে **পারমাণবিক বোমা** (atomic bomb) প্রস্তুত করা হইয়াছিল।

5·10. **পারমাণবিক শক্তির ব্যবহার** (Uses of atomic energy) : বর্তমানে পারমাণবিক শক্তিকে নিয়ন্ত্রিত করিয়া মানবিক কল্যাণে নিয়োজিত করা হইতেছে। সাধারণত শৃঙ্খল বিক্রিয়া অত্যন্ত প্রবল ও দ্রুত। মুহূর্তের মধ্যে ইহা অমিত শক্তির উদ্ভব করে—যে শক্তি ধ্বংসাত্মক কার্য ছাড়া অন্য কিছু করিতে পারে না। ইহাকে কল্যাণকর কার্যে নিয়োজিত করিতে হইলে ইহাকে নিয়ন্ত্রণ করিতে হইবে। নিউক্লীয় রিয়্যাক্টর ঐরূপ নিয়ন্ত্রিত পারমাণবিক শক্তি

উৎপাদক যন্ত্র। ইহাকে এক ধরণের পারমাণবিক চুল্লীও বলা যাইতে পারে। এই চুল্লীতে কয়েকটি ক্যাডমিয়ম দণ্ড থাকে। ইহারা নিউট্রন শোষণ করিয়া শৃঙ্খল বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণাধীনে রাখে। রিয়্যাক্টর যে প্রচণ্ড তাপশক্তি উৎপন্ন করে তাহা দ্বারা স্টীম তৈরী করা হয় এবং ঐ স্টীম টার্বো-জেনরেটার চালাইয়া বিদ্যুৎ উৎপাদন করে। পশ্চিমের বিভিন্ন দেশে একাধিক নিউক্লীয় রিয়্যাক্টর স্থাপন করিয়া প্রচুর পরিমাণ বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন করা হইতেছে। ভারতবর্ষেও কয়েকটি রিয়্যাক্টর কেন্দ্র স্থাপন করা হইয়াছে এবং সেখান হইতে বিদ্যুৎ শক্তি সরবরাহ করা হইতেছে। বিদ্যুৎ সরবরাহ ছাড়া, এই সকল রিয়্যাক্টর হইতে প্রচুর পরিমাণ তেজস্ক্রিয় সমস্থানিকও নানা-কাজে সরবরাহ করার ব্যবস্থা হইয়াছে।

5·11. **নিউক্লীয় সংযোজন** (Nuclear fusion)ঃ পূর্ব অনুচ্ছেদে আমরা দেখিলাম যে ভারী নিউক্লীয়াসকে দুইখণ্ডে ভাঙ্গিয়া অর্থাৎ বিভাজন (fission) করিয়া প্রচণ্ড শক্তি সৃষ্টি করা যায়। কিন্তু আর একটি উপায় আছে যাহা দ্বারা প্রচণ্ডতর শক্তির উদ্ভব হইতে পারে এবং ইহাকে বলা হয় **নিউক্লীয় সংযোজন** (nuclear fusion)। নিউক্লীয় সংযোজন পদ্ধতিতে একাধিক হালকা নিউক্লীয়াসকে সংযোজন (fusion) করিয়া ভারী নিউক্লীয়াস গঠন করা হয়। এই হিসাবে নিউক্লীয় সংযোজন পদ্ধতি নিউক্লীয় বিভাজন পদ্ধতির উল্টা। শক্তির উদ্ভবের দিক হইতে হিসাব করিলে দেখা যায় সর্বাপেক্ষা সুবিধাজনক সংযোজন পদ্ধতি হইতেছে চারটি হাইড্রোজেন পরমাণুর সংযোজনে একটি হিলিয়াম পরমাণুর গঠন। ইহা নিম্নলিখিত সমীকরণ অনুযায়ী হইবে $4_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + 2$ পজিট্রন

ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র হইতে প্রাপ্ত সঠিক ভর লইয়া হিসাব করিলে দেখা যাইবে যে বিক্রিয়া-লব্ধ কণাগুলির মোট ভর পূর্বের ভর অপেক্ষা 0·03 ভর একক কম। আইনস্টাইনের ভর-শক্তি সমীকরণের সাহায্যে ইহাকে শক্তিতে রূপান্তরিত করিলে হিলিয়াম পরমাণু গঠনে প্রায় 0·00004 আর্গ শক্তি পাওয়া যাইবে। আপাতদৃষ্টিতে এই শক্তি খুবই সামান্য মনে হইতে পারে কিন্তু সামান্য পরিমাণ হাইড্রোজেনেই যে লক্ষ লক্ষ পরমাণু আছে তাহাদের কথা বিবেচনা করিলে এই শক্তি হইবে অপরিমিত—প্রতি পাউণ্ডে প্রায় দশকোটি কিলোওয়াট-ঘন্টার মত।

আপাত দৃষ্টিতে নিউক্লীয় সংযোজন প্রণালী খুবই সহজ মনে হয়। কিন্তু কার্যক্ষেত্রে দেখা যায় যে ইহা খুবই কঠিন। কারণ সংযোজন পদ্ধতি সাফল্যমণ্ডিত করিতে হইলে অতি উচ্চ তাপমাত্রার প্রয়োজন। হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে যে, প্রায় 10^7 কিংবা 10^8 ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রাতেই সংযোজন পদ্ধতি সম্ভব। কাজেই, সংযোজনের পূর্বে হালকা নিউক্লীয়াস দুইটিকে কয়েক কোটি ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিয়া লইতে হইবে। এই ধরণের বিক্রিয়াকে বলা হয় **তাপজ-নিউক্লীয় বিক্রিয়া** (thermo-nuclear reaction)। নিউক্লীয় বিভাজনের দ্বারা বিস্ফোরণ ঘটাইলে এই ধরণের উচ্চ তাপমাত্রা সৃষ্টি করা যায়।

1939 খ্রীষ্টাব্দে জার্মানীতে বিজ্ঞানী ওয়াইস্যাকার এবং যুক্তরাষ্ট্রে বিজ্ঞানী বেথে স্বাধীন ভাবে হিসাব করিয়া এই সিদ্ধান্তে পৌঁছাইলেন যে সূর্য বা নক্ষত্রের অপরিমিত তাপশক্তির উৎস হইতেছে এই হাইড্রোজেন নিউক্লীয়াসের সংযোজন। সূর্য কোটি কোটি বছর ধরিয়া মহাশূন্যে যে বিপুল শক্তি বিকিরণ করিয়া আসিতেছে সেইরকম বিপুল শক্তি উৎপাদনের অপর কোন উৎস

বিজ্ঞানীদের জানা নাই। আইনস্টাইনের সমীকরণ প্রয়োগ করিয়া হিসাব করিলে দেখা যায় যে ঐ পরিমাণ শক্তি বিকিরণের জন্য সৌরদেহ প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 45 লক্ষ টন ভর হারাইতেছে। কিন্তু ইহাতে আতঙ্কের কোন কারণ নাই; সৌরদেহ এত বিরাট যে ঐ হারে ভর নষ্ট করিলেও কোটি বছর পরেও সৌরদেহ প্রায় অটুটই থাকিবে।

উল্লেখযোগ্য যে তাপজ নিউক্লীয় বোমা (thermonuclear bomb)—যাহাকে সাধারণভাবে হাইড্রোজেন বোমা বলা হয়—তাহা সংযোজন প্রক্রিয়াতেই শক্তি সৃষ্টি করে। বিস্ফোরণযোগ্য ভর সমান লইলে, একটি সংযোজন বোমা একটি বিভাজন বোমার তুলনায় প্রায় 30 গুণ শক্তিশালী। তাছাড়া, বিভাজন বোমার মত সংযোজন বোমার কোন সন্ধি সাইজের প্রয়োজন করে না; কাজেই ইহার সাইজ ইচ্ছামত বাড়ানো যাইতে পারে। বর্তমানে বিজ্ঞানীরা সংযোজন প্রক্রিয়ায় নিয়ন্ত্রিতভাবে শক্তি উৎপাদনের সমস্যা লইয়া নানারকম গবেষণা চালাইতেছেন কিন্তু খুব বেশী সাফল্য লাভ করেন নাই। প্রধান অসুবিধা হইতেছে যে এই প্রক্রিয়ায় যে অকল্পনীয় তাপমাত্রার সৃষ্টি হয় সেই তাপমাত্রা কোন উপাদানই সহ্য করিতে পারে না।

5·12 **মহাজাগতিক রশ্মি** (Cosmic rays) ঃ বিংশ শতাব্দীর প্রথম ভাগে বিজ্ঞানীরা লক্ষ্য করেন যে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে তড়িতাহিত করিয়া যদি উত্তমরূপে অন্তরিত করা যায় তাহা হইলেও তড়িৎবীক্ষণ হইতে তড়িতাধান ধীরে ধীরে ক্ষয় পাইয়া যায়। এমন কি, তড়িৎবক্ষিণকে সীসা দ্বারা আবৃত রাখা সত্ত্বেও তড়িতাধানের ক্ষয় হয়; তবে পূর্বাপেক্ষা ধীর গতিতে। কিছু কিছু বিজ্ঞানী মন্তব্য করিলেন যে ভূপৃষ্ঠে সর্বদা কিছু তেজস্ক্রিয় পদার্থ মিশিয়া থাকে। ঐ পদার্থ হইতে নির্গত রশ্মি তড়িৎবীক্ষণকে তড়িৎমুক্ত করে। এই বিষয়টি পরীক্ষা করিবার জন্য গকেল 1910 খ্রীষ্টাব্দে একটি তড়িৎগ্রস্ত তড়িৎবীক্ষণকে বেলুনে করিয়া ভূপৃষ্ঠ হইতে বেশ কিছু উঁচুতে লইয়া পর্যবেক্ষণ করিলেন। তিনি সবিস্ময়ে লক্ষ্য করিলেন যে ভূপৃষ্ঠ হইতে উঁচুতে তড়িতবীক্ষণের তড়িৎমুক্তির হার ভূপৃষ্ঠ অপেক্ষা অনেক বেশী। সুতরাং এবিষয়ে নিঃসন্দেহ হওয়া গেল যে এই ঘটনা ভূপৃষ্ঠের তেজস্ক্রিয় বস্তু দ্বারা হইতেছে না। ইহার পর হেস এবং কোহলস্টার লক্ষ্য করেন যে ভূপৃষ্ঠ হইতে যত উচ্চে যাওয়া যায়, তড়িৎবীক্ষণের তড়িৎমুক্তির হার তত বৃদ্ধি পায়। তখন তাহারা এই মত প্রকাশ করেন যে পৃথিবীর চতুর্দিক হইতে উচ্চ ভেদনশক্তি সম্পন্ন একপ্রকার রশ্মি ভূপৃষ্ঠের উপর আসিয়া পড়িতেছে এবং তড়িৎবীক্ষণের তড়িৎ-মোক্ষণ করাইতেছে। এই রশ্মির উৎসস্থল পৃথিবীর বাহিরে মহাশূন্যের কোন স্থানে অবস্থিত হওয়ায় ইহার নাম দেওয়া হইয়াছে **মহাজাগতিক রশ্মি** (cosmic rays)।

মহাজাগতিক রশ্মির ভেদনক্ষমতা অতি উচ্চ—অতি কঠিন এক্সরশ্মি অথবা গ্যামা রশ্মির চাইতেও বেশী। 1926 খ্রীষ্টাব্দে মিলিকান এবং ক্যামেরণ সমুদ্রের গভীরতায় এবং খনির অভ্যন্তরে পরীক্ষা চালাইয়া মহাজাগতিক রশ্মির সন্ধান পাইয়াছিলেন। ইহা লক্ষ্য করা গিয়াছে যে উচ্চ চৌম্বক অক্ষাংশে মহাজাগতিক রশ্মির তীব্রতা নিম্ন অক্ষাংশের তুলনায় বেশী। ইহা হইতে বিজ্ঞানীরা সিদ্ধান্ত করিলেন যে এই রশ্মি তড়িৎগ্রস্ত কণাদ্বারা গঠিত এবং পৃথিবীর চৌম্বক-ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হইয়া বিভিন্ন অক্ষাংশে বিভিন্ন তীব্রতা সৃষ্টি করিয়াছে। ইহাও লক্ষ্য করা

গিয়াছে যে পশ্চিম দিক হইতে আগত কণার সংখ্যা পূর্বদিক হইতে আগত সংখ্যা অপেক্ষা বেশী। ইহাকে **পূর্ব-পশ্চিম ক্রিয়া** (east-west effect) বলা হয়।

এই রশ্মি কোথায় এবং কিভাবে তৈয়ারী হইতেছে সে সম্পর্কে এখনও কোন সন্তোষজনক ব্যাখ্যা পাওয়া যায় নাই। পরিমাপ করিয়া দেখা গিয়াছে যে মহাজাগতিক রশ্মির কণাগুলি অবিশ্বাস্য রকমের উচ্চশক্তি সম্পন্ন—প্রায় 10^{17} ইলেকট্রন ভোল্টের কাছাকাছি। বিজ্ঞানীরা মনে করেন যে সূর্য এবং কোন কোন নক্ষত্র অপেক্ষাকৃত কম শক্তিসম্পন্ন—প্রায় 10^{12} ইলেকট্রন-ভোল্ট—মহাজাগতিক রশ্মি কণা সৃষ্টি করে।

প্রমাণ পাওয়া গিয়াছে যে পৃথিবীর আবহমণ্ডলের বাহির হইতে যে মহাজাগতিক রশ্মি আবহমণ্ডলে প্রবেশ করিতেছে তাহা ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত পারমাণবিক নিউক্লীয়াস দ্বারা গঠিত। ইহাদের ভেদনশক্তি অতি উচ্চ। ইহাদের বলা হয় **প্রাথমিক রশ্মি** (primary rays)। প্রাথমিক রশ্মির বেশীর ভাগ অংশ প্রোটন দ্বারা গঠিত। প্রাথমিক রশ্মি আবহমণ্ডলে প্রবেশ করিলে, রশ্মির কণাগুলির সহিত আবহমণ্ডলের পরমাণু নিউক্লীয়াসের সংঘাত হয়। এই সংঘাতের ফলে বিভিন্ন রকমের কণা তৈরী হয়। ইহাদের বলা হয় **দ্বিতীয় পর্যায়ের কণা** (secondary praticles)। এই কণাগুলির মধ্যে পজিট্রন ও মেসন খুবই উল্লেখযোগ্য।

5·13 **মেসন** (Meson) ঃ পরমাণুর নিউক্লীয়াসে যে-সকল কণা আছে তাহারা পরস্পরের সহিত প্রচণ্ড আকর্ষণ বলে আবদ্ধ। এই আকর্ষণ বলের প্রকৃতি কি? এই সম্বন্ধে আলোচনা করিতে গিয়া 1935 খ্রীষ্টাব্দে জাপানের বিজ্ঞানী যুকাওয়া এই সিদ্ধান্তে আসিলেন যে, এই ব্রহ্মাণ্ডে নিশ্চয়ই আরও একটি মূল কণা আছে যাহা একটি ইলেকট্রনের প্রায় দুশো গুণ ভারী কিন্তু আধান একটি ইলেকট্রনীয় আধানের সমান। ইহার দুই বছর পরে 1937 খ্রীষ্টাব্দে এণ্ডারসন ও নেডডারমায়ার মহাজাগতিক রশ্মিতে ঐরূপ একটি কণিকার সন্ধান পাইলেন এবং তাহার ভর মোটামুটিভাবে স্থির করিলেন। দেখা গেল ঐ ভর ইলেকট্রনীয় ভরের 220 গুণ। এই নতুন কণিকার নাম **মেসন**।

মহাজাগতিক রশ্মির প্রকৃতি বিশ্লেষণে মেসন নতুন আলোকপাত করিল। বিজ্ঞানীরা মেসন সম্বন্ধে নানারকম তথ্য সংগ্রহে সচেষ্ট হইলেন। দেখা গেল ইহা অত্যন্ত স্বল্পায়ু কণা—ইহার অর্ধায়ু প্রায় $2{\cdot}15\times10^{-6}$ সেকেণ্ড। ফটোগ্রাফী প্লেটের সাহায্যে (ইহাকে নিউক্লীয়ার প্লেট বলা হয়) মেসন পর্যালোচনা করিয়া পাওয়েল দেখিলেন যে একটি মেসনের ভর প্রায় $273m_e$ ($m_e=$ একটি ইলেকট্রনের ভর); আবার, এই মেসনটি যেখানে লুপ্ত হইল সেখান হইতে বাহির হইল আর এক রকমের মেসন। ইহার ভর পাওয়া গেল প্রায় $207m_e$; ইহা হইতে পাওয়েল এই সিদ্ধান্তে আসেন যে, মেসন দুই রকমের আছে— $207\ m_e$ মেসন এবং $273\ m_e$ ভরের মেসন। প্রথমটির নাম দেওয়া হইল মিউ-মেসন (μ-meson) অথবা মিউঅন (muon) এবং দ্বিতীয়টির নাম পাই-মেসন (π-meson) অথবা পায়ন (pion)।

এগুলি সবই প্রকৃতিলব্ধ মেসন। পরীক্ষাগারেও মেসন সৃষ্টি সম্ভব হইয়াছে। 400 Mev শক্তির আলফাকণা দ্বারা হালকা নিউক্লীয়াস আঘাত করিলে দুই রকমের মেসনই সৃষ্টি হয়। ইহারা ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় প্রকার তড়িৎযুক্ত। তাছাড়া নিস্তড়িৎ মেসনও পাওয়া গেল।

ইহার আয়ু অতি অল্প—প্রায় 10^{-16} সেকেণ্ডের মত। ইহা স্বতঃই ক্ষয় হইয়া গ্যামারশ্মির উদ্ভব করে।

মহাকাশ হইতে π-মেসন যতই বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করে ততই তাহা μ-মেসনে পরিবর্তিত হইতে থাকে। π-মেসন অপেক্ষা μ-মেসন একটু বেশীক্ষণ স্থায়ী। μ-মেসন ক্ষয় পাইলে ইলেকট্রন অথবা পজিট্রন নির্গত হয়। π-মেসন ও μ-মেসন ছাড়া আরও অনেক রকম মেসনের সন্ধান পাওয়া গিয়াছে। যেমন $500m_e$ ভরের বিটা-মেসন, $800m_e$ ভরের K-মেসন, 970 m_e ভরের টাউ-মেসন ইত্যাদি।

Exercises

1. তেজস্ক্রিয়া কি? ইহা কিরূপে আবিষ্কৃত হইল? তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে কি কি বিকিরণ নির্গত হয়? এই বিকিরণগুলির মুখ্য ধর্মাবলী উল্লেখ কর।

2. তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে যে বিকিরণ নির্গত হয় তাহা তিন ধরণের ইহা প্রদর্শনের পরীক্ষা বর্ণনা কর। তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু ও ক্ষয় বলিতে কি বোঝ?

3. তেজস্ক্রিয় পরমাণুর নিউক্লীয়াসের ভাঙ্গন হইলে মৌলের কোনরূপ পরিবর্তন হয় কি? এই ভাঙ্গনের নিয়ম কি?

4. কৃত্রিম মৌলান্তর কাহাকে বলে? প্রথম কৃত্রিম মৌলান্তর কিভাবে করা হয়?

5. কৃত্রিম সমস্থানিক কাহাকে বলে? ইহার কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ কর।

6. নিউক্লীয় বিভাজন বলিতে কি বোঝ? নিউক্লীয় বিভাজন ও নিউক্লীয় সংযোজন কি বিপরীত প্রক্রিয়া? ইহা হইতে শক্তির উদ্ভব হয় কিরূপে?

7. আইনস্টাইনের ভর ও শক্তির তুল্যতা সূত্র বিবৃত কর। ইহা হইতে বন্ধনশক্তির ব্যাখ্যা কিরূপে পাওয়া যায়?

8. নিম্নলিখিত বিষয় সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত নোট লেখ:—(ক) মহাজাগতিক রশ্মি এবং (খ) মেসন।

INDEX

(Figures indicate page number)

N

O

P

Q

C